

비커스 압입 하중에 의한 취성재료의 균열 신호특성

The Signal Characteristics from Crack of Brittle Materials by Vickers Load

남기우*[†], 김현수*

Ki-Woo Nam*[†] and Hyun-Soo Kim*

초 록 본 연구에서는 3종류의 취성재료에 비커스 경도기를 사용하여 압축하중에 의한 신호특성과 잔류응력의 에너지 해방에 의하여 검출되는 신호특성을 조사하였다. 각 시험편에서 I영역과 III영역에서는 신호가 검출되었으나, 일정 하중이 유지되는 II영역에서는 음향방출 신호가 전혀 검출되지 않았다. 유리 시험편은 III영역에서 높은 진폭값을 가지는 신호가 검출되었고, Al_2O_3 및 Al_2O_3/SiC 시험편은 I영역에서 높은 진폭값을 가지는 신호가 검출되었다.

주요용어: 매디안 균열, 취성재료, 음향방출, 미소균열, 신호특성

Abstract we analyzed acoustic emission signals obtained from three kinds of brittle materials under compression load by Vickers hardness tester. The results obtained can be summarized as follows; The signal in each material could be divided into three stage based on the properties of load. All specimens were not detected acoustic emission signals in stage II which was load constant region., and were detected in stage I and stage III. Glass was detected high amplitude signals in stage III. Al_2O_3 and Al_2O_3/SiC were detected high amplitude signals in stage I.

Keywords: median crack, brittle materials, acoustic emission, microcrack, signal characteristic

1. 서 론

취성재료는 낮은 파괴인성으로 인하여 사용 중 외부로부터의 충격에 의한 이물질이 표면 균열로 작용하여 응력 집중에 의한 갑작스런 파괴를 일으키고 파단강도의 급격한 저하를 가져온다. 그러므로, 취성재료를 구조용 재료로 적용하는데 있어서 잔류응력을 정량적으로 평가하는 것은 손상허용 설계 관점에서 매우 중요하다[1-5].

취성재료의 파괴는 쉽게 규명할 수 있는 문제가 아니다. 대부분의 연구가 특성향상의 측면에서만 치우쳐 있고, 취성재료의 파괴과정에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

한편, 파단면의 미세구조관찰을 통한 거시적인 파괴양상에 대한 연구는 많이 행하여지고 있다. 그러나 취성재료의 파괴거동을 규명하기 위해서는 보다 미시적인 접근이 이루어져야 한다. 왜냐하면, 취성재료는 외부에서 응력이 가해질 때, 응력을 완화시키기 위하여 미소균열을 발생시킨다. 따라서 파괴의 근본 출발점은 바로 재료 내부에서 발생한 미소균열에서 시작되기 때문에 그 중요성이 있는 것이다[6].

재료 내부에서 변형 및 파괴가 일어날 때는 재료의 특성 및 작용응력의 형태에 따라 독특한 탄성파가 방출되는데 이러한 탄성파를 검출하여 재료내부에서 일어나고 있는 현상들을 해석해 나가는 기술이 새로운 재료평가법

으로 주목받고 있다. 이것을 음향방출법이라고 한다. 음향방출법은 비파괴 검사방법의 일종으로 다른 비파괴 검사법과는 달리, 미소균열 또는 재료내부의 변형에 따르는 탄성파를 직접 검출하고, 그 발생위치, 발생수, 신호강도로부터 각각의 발생된 미소균열 등을 동적으로 검출하고 평가하는 수법이다. 재료 중에 미소균열이나 변형이 발생하면 탄성파가 방출되고, 이 탄성파를 표면에 부착시킨 센서로 검출하여, 이 탄성파의 신호처리를 함으로서 재료내의 미소균열발생이나 성장을 검출할 수 있다[7, 8].

따라서, 본 연구에서는 취성재료에 비커스 경도기를 사용하여 부여한 압축하중과 하중을 제거 한 후의 에너지 해방에 의한 파괴 신호를 분석하였다.

2. 실험방법

2.1. 시험편

본 실험에 사용한 취성재료는 모두 3가지로 시판용 유리, Al_2O_3 및 Al_2O_3/SiC 이다. 유리는 시판중인 두께 5mm 소다라이유리판재를 $10 \times 15mm$ 로 절단하여 사용하였고, Al_2O_3 는 가압소결된 3mm의 판재를 $20 \times 10mm$ 의 크기로 절단하여 사용하였다. 또, Al_2O_3/SiC 의 경우에는 Al_2O_3 분말(평균입자 $0.5 \mu m$, 순도 99.99%)과 SiC 분말(평균입자 $0.27 \mu m$, 순도 98%, (SiC 입자의 첨가량은 15vol%))을 3mm의 두께로 가압소결하여, $4 \times 15mm$ 의 형태로 시험에 사용하였다.

실험에서 취성재료에 압축하중을 부여하기 위하여 사용한 경도기는 Indentec사의 비커스 경도기로서, 1kg의 하중으로 부하시간 5초, 유지시간 10초, 제거시간 5초의 조건으로 실험을 실시하였다.

Fig. 1에 본 압축시험에 사용한 취성재료들의 모식도를 나타내었다.

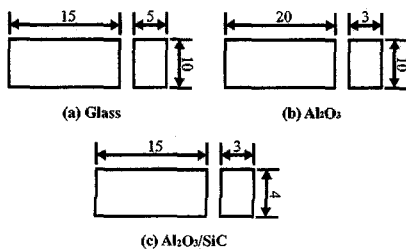


Fig. 1 Dimension of specimen (All dimensions in mm)

2.2. 음향방출 시스템

본 실험에 사용한 음향방출 장비는 모두 2가지를 사용하였다. 그 모식도를 Fig. 2에 나타내었다.

신호의 파형과 주파수 특성 검출하기 위한 장비는, 최대 16채널까지 지원되는 Digital Wave사의 Model: FM-1 이다. 센서에서 검출된 신호는 pre-amp.에서 30dB증폭시킨 후 main-amp.에서 다시 18dB증폭 시켜 wave explor 프로그램으로 분석하였다. 실험 중 하한계값은 10mV로 설정하였다. 시간에 따른 신호의 진폭 분포를 검출하기 위한 장비는 최대 2채널까지 지원되는 Mistras 2001장비로서, 광대역 센서의 34dB의 하한계값을 설정하여 신호를 검출하였다.

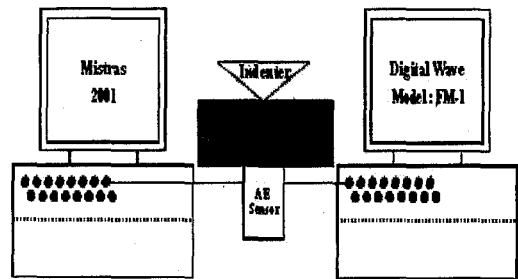


Fig. 2 Schematic diagram of the acoustic emission system

3. 압축시험

비커스 경도기의 압자 압입에 따라 압축하중에 의한 매디안 균열형성과정을 Fig. 3에 나타내었다.

비커스 압자가 시험편의 표면에 접촉하게 되면 그 표면직하에 매디안 균열의 핵이 생성되고(Fig. 3(a)), 비커스 압자 압입의 압축하중의 증가와 함께 이 매디안 균열이 점점 성장하게 된다(Fig. 3(b)). 그리고, 이 매디안 균열은 비커스 압자의 압입하중 제거로 잔류응력의 에너지가 해방되므로서 표면방향으로 더욱 성장하게 되며, 최종적으로 반원 또는 반타원 형상(Fig. 3(c))을 이루게 되는 것으로 알려져 있다[9]. 한편, 비커스 압자 압입의 압축하중에 의하여 형성되는 이러한 매디안 균열 이외에도 래터럴(lateral) 균열이나 팜크비스트(pamqvist) 균열이 형성되는 경우도 알려져 있다. 이러한 균열들은 재료의 물성이나 비커스 압자 압입의 압축하중에 따라서 형성되는 것으로 알려져 있다[10].

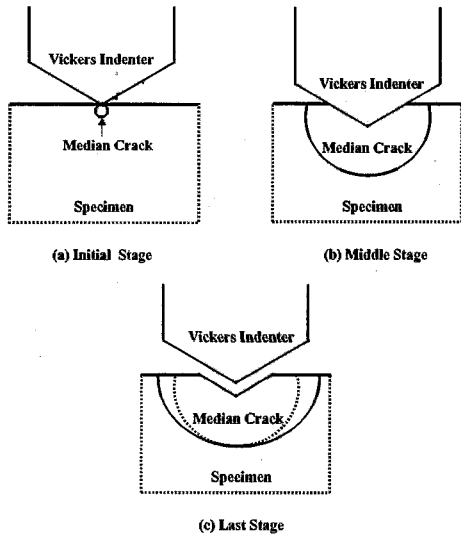


Fig. 3 Schematic diagram of median crack by the Vickers indenter

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 압흔관찰

Fig. 4는 각각의 시험편을 압축시험 후 압흔을 관찰한 것이다. Fig. 4(a)는 유리 시험편을 나타낸 것으로서, 다이아몬드 형상의 압흔은 찾아보기 힘들지만, 잔류응력의 에너지 해방에 의하여 진전된 메디안 균열의 형상은 확실히 관찰 가능하였다. Fig. 4(b)는 Al₂O₃ 시험편을 나타낸 것으로서, 압흔의 형상도 명확하지 않을 뿐만 아니라, 수많은 미세균열에 의하여 형성된 프록세스 존이라고 생각되는 것이 압흔 주위에 보이고 있으며 또한 많은 유사 메디안 균열도 발생되어 있는 것을 보이고 있다. Fig. 4(c)는 Al₂O₃/SiC 시험편을 나타낸 것으로, 비교적 양호한 압흔 모양을 나타내었다. 이러한 것은 각 재료의 물리적특성에 기인한다고 생각된다. 즉, 유리는 비정질이며, Al₂O₃는 소결에 따라 입정장이 원인이며, Al₂O₃/SiC는 조직이 치밀화되었기 때문이다.

4.2. 파면관찰

Fig. 5는 각각의 시험편을 경도 측정된 후 그 면을 파단하여 주사전자현미경으로 관찰한 사진을 나타낸 것이다.

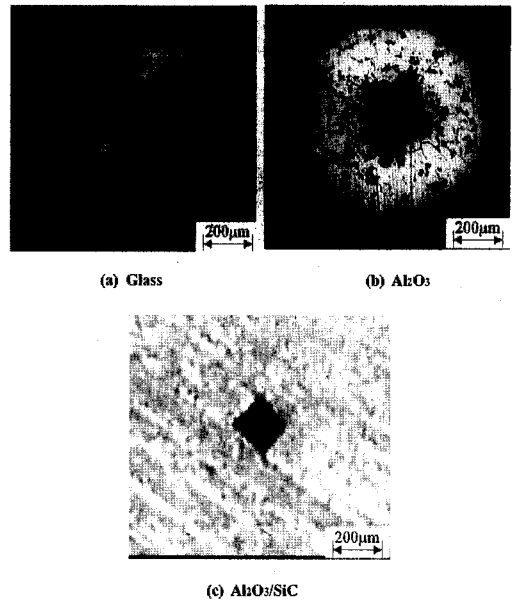


Fig. 4 Vickers indents and cracks on the surface of each specimens (Pv=1kg)

그림에서 오른쪽은 왼쪽의 A부분을 확대하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 3종류의 시험편은 모두 메디안 균열(B부분으로 흰색 점선으로 표시)이 생성되었음을 잘 알 수 있고, 오른쪽에서는 잔류응력의 에너지 해방에 의한 미세한 균열들(화살표로 표시)이 생성되어 있음을 관찰할 수 있었다. Fig. 5(a)는 유리시험편을 관찰한 것으로서, B부분은 메디안 균열을 나타내고 있으며, 양쪽의 C부분은 잔류응력의 에너지 해방에 의하여 균열이 전파되었음을 나타내고 있다. Fig. 5(b) 및 (c)는 Al₂O₃와 Al₂O₃/SiC 시험편을 관찰한 것으로서, 작고 수많은 기공들이 존재함을 알 수 있었다. 이 기공들이 에너지를 흡수하는 것으로 예상된다.

4.3. 음향방출 시험

Fig. 6은 대표적으로 유리와 Al₂O₃ 시험편에서 검출된 음향방출 신호 분석한 것을 시간에 따른 진폭값을 나타낸 것이다. Fig. 6에서 나타나는 것처럼, II단계(5~15sec)에는 신호가 전혀 검출되지 않았다. 본 실험에서는 하중 부하 시간을 5sec(I 단계)로, 유지시간을 10sec(II 단계)로, 제거 시간을 5sec(III 단계)로 각각 설정하여 실험을 실시하였다.

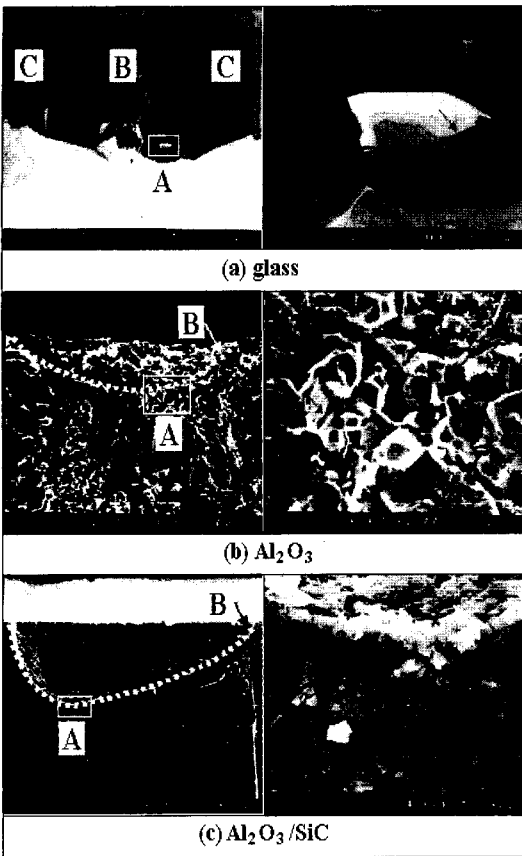


Fig. 5 Fractography of each specimen

5~15sec동안은 유지 영역으로서 하중의 증가·감소 없는 상태로써, 신호가 전혀 검출되지 않았다. 유리 시험편의 경우는 III단계에서 높은 진폭값을 가지는 신호가 검출되었고, Al₂O₃ 및 Al₂O₃/SiC 시험편의 경우에는 I 단계에서 높은 진폭값을 가지는 신호가 검출되었다.

Fig. 7은 압축시험의 I, II 및 III단계에서 검출된 음향방출신호의 파형과 주파수를 분석하여 각 시험편에 대하여 나타낸 것이다. Fig. 7(a)는 유리 시험편에서 검출된 신호로서 그 영역은 ① (100~350kHz), ② (500~700kHz), ③ (950~1000kHz)의 3가지 형태로 나타났다. Fig. 7(b)는 Al₂O₃ 시험편에서 검출된 신호로서 중심영역이 ①, ②, ③, ④, ⑤의 5가지로 나타났다. 즉 50~500 kHz사이의 광범위 영역으로 나타났다. Fig. 7(c)는 Al₂O₃/SiC 시험편에서 검출된 신호로서 Al₂O₃ 신호와 유사하였다. 그러나, SiC를 첨가하므로써 Al₂O₃보다 넓은 영역으로 나타났으나, 크게 4부분(① 50~200kHz,

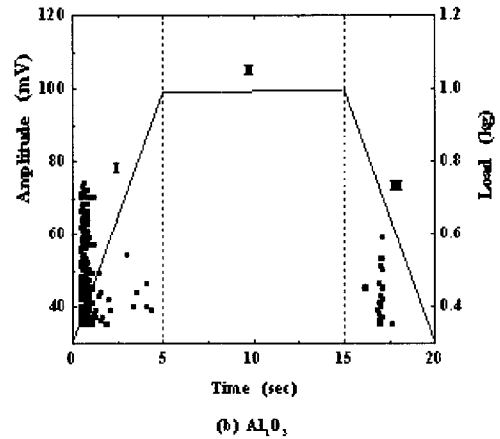
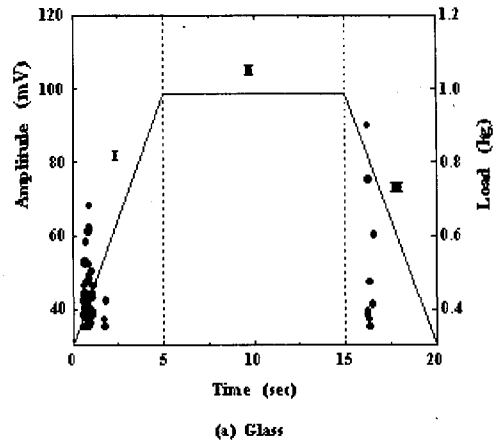
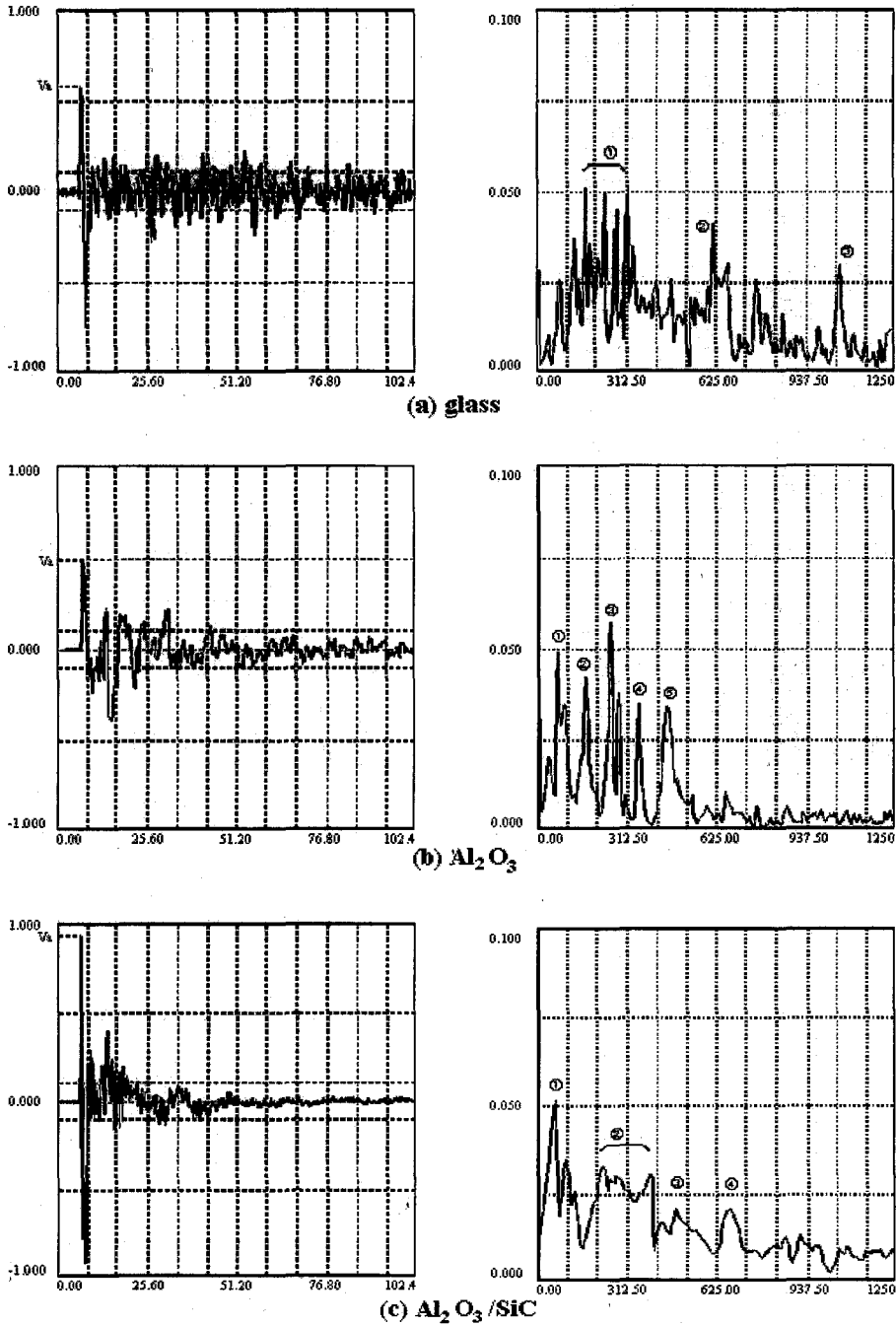


Fig. 6 AE amplitude produced during Vickers indentation test

크게 4부분 (① 50~200kHz, ② 200~400kHz, ③ 450~550 kHz, ④ 650~700kHz)으로 구분할 수 있었다. 하지만, 어떤 파괴기구에 의하여 각각의 영역이 나타나는가 하는 것에 대해서는 보다 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

Fig. 8은 각각의 시험편에서 검출된 음향방출 신호의 파형에서 최대 진폭값을 조사하여 나타낸 것이다. 즉, Fig. 7에서 Va값들을 조사한 것으로, 그래프에서 하나의 포인트들은 하나의 이벤트를 대표한다고 할 수 있고, 전압값이 크다는 것은 신호의 세기가 크다는 것을 의미한다. 세종류 시험편은 I 단계와 III단계에서만 신호가 검출되었다.



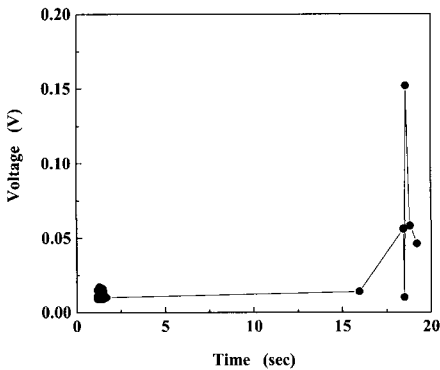
i) waveform

ii) power spectrum

Horizontal scale ; i) time : μs , ii) frequency : kHz, Vertical scale ; volt

Fig. 7 AE events detected during Vickers indentation test

Fig. 8(a)는 유리 시험편에서 검출된 것으로서, I 단계에서는 약한 신호들이 많이 검출되었지만, III단계에서 강한 신호들이 약간 관찰되었다. 유리는



(a) Glass

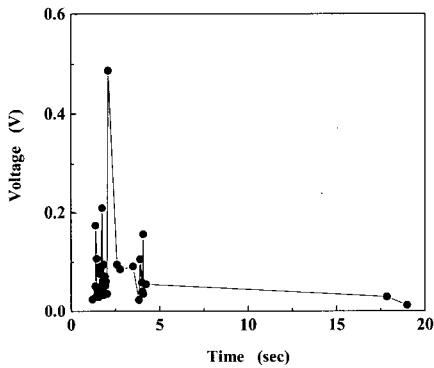
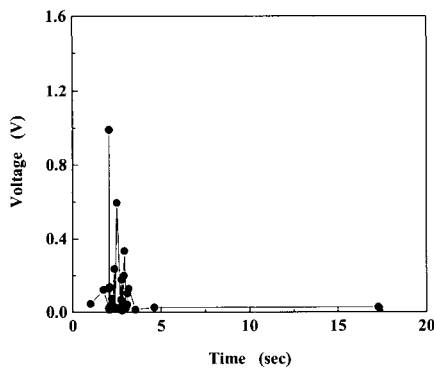
(b) Al₂O₃(c) Al₂O₃ / SiC

Fig. 8 The first peak voltage of AE waveform produced during Vickers indentation test

무결정 재료이기 때문에, 압자가 압입되는 과정에서 균열이 형성되고, 압자가 시험편을 벗어날 때는 압입동안 축적된 잔류응력의 에너지 해방에 의하여 균열이 성장하기 때문에 III단계에서 큰 신호가 발생하였다고 판단된다 (Fig. 5(a)참고). 그러나, Fig. 8(b)와 (c)는 유리와 상반된 양상을 나타내었다. 즉, 세라믹 재료의 경우에는, 흡수에너지가 작기 때문에 시험편 표면에 비커스 압자가 압입되는 순간(I 단계)부터 매우 많은 균열(메디안 균열 + 미세균열)들이 발생하여 I 단계에서 많은 신호들이 관찰되었고, III단계에서는 Fig. 5(b) 및 (c)에서 나타나는 것처럼 조직내에 존재하는 작고 수많은 기공들이 에너지를 흡수하기 때문에 아주 적은 수의 신호가 나타난다고 판단된다[5]. 지면관계상 본 논문에는 생략하지만, 이와같이 3종류의 시험편에서 얻어진 신호의 파형과 주파수 대역은 강도, 인성 및 하중과는 상관없이 일정하였다. 그러나, 압입하중의 증가에 따라서 음향방출 카운트수는 증가하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 취성재료에 비커스 경도기를 사용하여 압축하중에 의한 신호특성과 잔류응력의 에너지 해방에 의하여 검출되는 신호특성을 조사하였다. 실험결과를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 각 시험편에서 I 영역과 III영역에서는 신호가 검출되었으나, 일정하중이 유지되는 II영역에서는 음향방출 신호가 전혀 검출되지 않았다. 유리 시험편은 III영역에서 높은 진폭값을 가지는 신호가 검출되었고, Al₂O₃ 및 Al₂O₃/SiC 시험편은 I 영역에서 높은 진폭값을 가지는 신호가 검출되었다.
- 2) 각 시험편에서 검출된 음향방출신호를 주파수분석한 결과, 각 재료가 가지는 고유의 주파수 영역을 확인할 수 있었다.
- 3) 유리는 무결정 재료이기 때문에, 압자가 압입되는 과정에서는 에너지를 흡수하고 압자가 시험편을 벗어날 때는 시험동안 축적된 에너지 의하여 메디안 균열이 성장하여 III단계에서 큰 신호가 나타났다. 세라믹스는 흡수에너지가 작기 때문에 시험편 표면에 비커스 압자가 압입되는 순간부터 매우 많은 균열들이 발생하여 I 단계에서 많은 신호들이 관찰되었다.

참고문헌

- [1] 오상엽, 신형섭, 서창민, "취성계의 손상후 잔류강도 평가", 대한기계학회 2001년도 추계학술대회논문집 A, pp. 137-142, (2001)
- [2] 신형섭, Meakawa, 서창민, "탄화규소 세라믹의 충격 손상 및 강도저하에 미치는 입자의 재질 및 크기의 영향", 대한기계학회논문집, 제 16권, 제 10호, pp. 1869-1876, (1992)
- [3] Akimune, Y., "Spherical-Impact Mamage and Strength Degradation in Silicon Nitride," J. Am. Ceram. Soc., Vol, 27, pp. 1422-1428, (1992)
- [4] 김부안, 남기우, "구조용 세라믹스 강도의 신뢰성평가에 관한 연구", 한국요업학회지, 제 34권, 제 2호, pp. 157-162, (1997)
- [5] 新原皓一, "セラミックスの微小壓子壓入破壊", セラミックス, 第20卷, pp. 12-18, (1985)
- [6] 장병국, 우상국, "AE에 의한 알루미늄 세라믹스의 Microcrack생성과 파괴거동 평가", 한국요업학회지, 제 35권, 제 6호, pp. 551-558, (1998)
- [7] 김현수, 강창룡, 남기우, 김부안, "음향방출법에 의한 고강도 구조용 내화강의 열화특성에 관한 연구", 한국열처리공학회지, 제 13권, 제 5호, pp. 309-317, (2000)
- [8] Yamade, Y. and Kishi, T., "Acoustic Emission Study for Fracure Origin of Sintered Mullite in 4-Point Bending Test," J. Ceram. Soc. Jpn., Vol. 93 No. 3, pp. 273-279, (1990)
- [9] Marshall, D. B. and Lawn, B. R., "Residual Stress Effect in Sharp Contact Cracking", Journal of Material Science 14, pp. 2001-2012, (1979)
- [10] Marshall, D. B. and Evans, A. G., "Elastic/Plastic Indentation Damage in Ceramics: The Median/Radial Crack System," Journal of American Ceramic Society, Vol. 63, No. 9, pp. 574-581, (1980)