

論文

纖維強化 方向에 따른 SiC/SiC 세라믹 複合材料의 AE 신호특성

권종완* · 이유태**

AE Signal Pattern for SiC/SiC Ceramic Matrix Composites
by Fiber Reinforced Direction

J. W. Kwon and Y. T. Lee

ABSTRACT

The dependence of reinforced fiber direction in woven SiC/SiC ceramic matrix composites, using injection molded SiC/SiC and SiC/CVI-SiC were examined under slow speed(0.02 mm/min) tensile test with acoustic emission and strain measurement. It was found that the AE source location method, carried out by using the first arrival wave velocity, can be used effectively to locate fracture points. Based on amplitude distribution analysis, it can be deduced that the amplitude of AE events correspond to fracture mechanism i.e., matrix cracking, debonding, fiber pullout, fiber filament breaking, fiber bundle breaking. The dependence of fiber direction was not exist in SiC/CVI-SiC during the tensile test, But it was so important factor in injection molding SiC/SiC.

요 약

슬러리법과 화학증착주입법(CVI)에 의해 성형된 섬유강화 방향이 다른 두가지 종류의 SiC/SiC 세라믹복합재료에 대하여 저속인장 실험을 행하고 그때 발생한 음향방출의 신호의 해석과 변형을 변화의 해석을 통하여 파괴기구의 섬유강화 방향의 의존성을 평가하였다. 탄성파의 전파속도를 이용한 AE위치표정의 해석은 파괴지점의 위치선정에 아주 유용한 방법으로 판명되었으며 신호진폭분포의 해석을 통하여 AE신호의 진폭분포가 모재균열, 계면분리, 섬유뿔힘, 섬유파단, 섬유다발의 파단등과 같은 파괴기구와 아주 좋은 일치를 보였다. 또 화학증착법에 의한 SiC/SiC세라믹 복합재료는 인장실험을 통하여 섬유강화방향에 대한 의존성이 나타나지 않았으나 슬러리법을 이용한 SiC/SiC세라믹 복합재료에서는 섬유강화 방향이 매우 중요한 인자가 되는 것으로 나타났다.

1. 서 론

세라믹재료의 우수한 내열성 내부식성 고강성, 저 열팽창계수의 장점을 유지하면서 최대의 약점인 취성破壊의 문제를 해결하기 위해 입자 분산 혹은 휘스커, 연속섬유를 세라믹 모재에 보강시킨 세

라믹 복합재료의 개발을 위한 연구가 활발히 진행 중이다.[1]-[3]

이중에서도 특히 SiC는 일반적으로 높은 용융점을 갖고 있고 고온 특성이 좋은 것으로 알려져 SiC/SiC 세라믹 복합재료의 개발에 관심이 점점 높아지고 있고 일부 상당한 발전을 가져와 섬유가

* 경일대학교 공과대학 기계공학과

** 예천도립전문대학 자동차과

직물의 형태로 강화된 세라믹 복합재료에서의 파괴 모드라든가 파괴 기구에 관한 기본적인 이해는 여러 각도에서 실시 되고 있으나 여전히 아주 기초적인 단계에 머물러 있다.[7]-[8] 직물 섬유강화 SiC/SiC에 있어서 고인화 기구에 대한 논의는 주로 합금재의 탄소성거동과 비슷한 인장실험이나 굽힘실험에서의 비선형 응력-변형율거동에 의해서 추론 되고 있다. 그러나 이러한 세라믹 복합재료의 경우는 복합화 과정에서 복잡한 구조를 갖게 됨에 따라 그 破壞機構도 결함, 모재의 탄성율, 纖維의 탄성율, 界面의 강도, 고온산화등 무수한 변수에 지배되고 있기 때문에 정확한 파괴기구의 이해는 쉬운일이 아니며 따라서 정확한 破壞機構의 解析을 위한 시도가 매우 시급한 실정이다.

CMC의 破壞機構의 解析을 위한 방법으로는 여러가지가 있으나 그중에서 중요한 位置를 차지하고 있는 방법이 음향방출법이다. 이방법은 FRP(Fiber Reinforced Plastic)의 재료평가에는 꾸준히 연구논문이 발표 되고 있으나 세라믹 複合材料의 破壞 機構평가에는 D. Rouby등이 압입법에 의한 CMC의 界面특성 평가를 위해 사용함으로써 이방법의 유용성을 입증해 주고 있다.[7]-[11] 따라서 본논문에서는 성형방법이 완전히 다른 SiC직물 강화 SiC세라믹 複合材料로부터 強化纖維방향이나 다른 시험편을 절취하여 인장試驗을 행함으로써 強化纖維방향의 의존성과 破壞機構를 실시간으로 解析하고 CMC재료에 대한 非破壞 평가기술의 확립을 목적으로 한다.

2. 실험방법

2-1. 시험편

본 연구에서는 서로 다른 성형법에 의해 제작된 2가지 종류의 SiC/SiC 세라믹 복합재료를 대상으로 한다. 일본카본주식회사에서 개발중인 SiC/SiC세라믹 복합재료(상품명:"Nicaloceram")는 SiC섬유(상품명: Nicalon) 500本을 한다발로 만들고 하나의 경실다발과 씨실다발이 한번 교차한 후 7다발을 건너뛰어 다시 서로 교차하는 방법으로 짜여진 8枚朱子織의 형태로 직조한 후 1 방향으로 당긴 상태에서 SiC분말과 Policalbosylan용액에 의해서 만들어진 슬러리를 함침시켜 프리프래그가 제작되었다. 이 프리프래그를 8배 적층시키고 공기

중에서 200-300°C로 가열경화 시킨후 공기중 1000°C로 소결하였다. 이러한 燒成品에 슬러리를 다시 함침시키고, 경화, 소성시키는 작업을 반복하여 모재를 치밀화시킨 재료이다. 이 재료에 강화 섬유의 체적분율은 40%이고, 복합체 자체의 밀도는 $2.0 \text{ } 10^3 \text{ kg/m}^3$, 기공율은 22.5%이다.

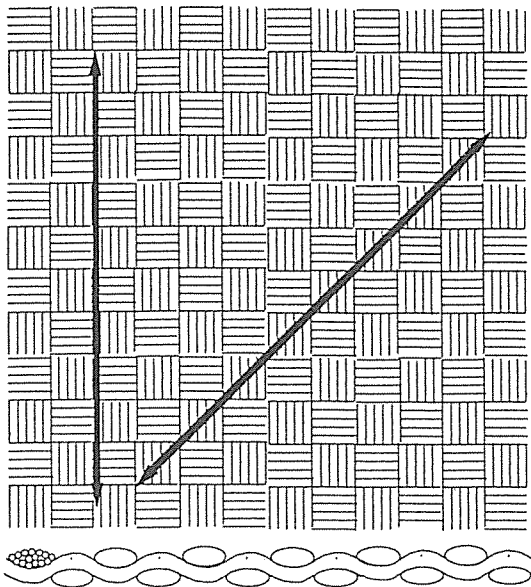
Du Pont은 Nicaloceram과 같은 강화 섬유다발을 이용하여 경실다발과 씨실다발이 하나씩 서로 연결된 순서대로 짜여져 있는 평직 섬유직물을 제작한 후 포개 상태에서 CVI(Chemical Vapor Infiltration)법에 의해 모재를 충전시킨 재료로써 일반적으로 섬유와 모재사이에 반응을 일으켜 접착 강도가 굉장히 강한재료로 생각된다.[14] 강화되어진 섬유의 체적분율은 40% 이고 복합체 자체의 밀도는 $2.5 \text{ } 10^3 \text{ kg/m}^3$, 기공율은 10%이다. 이 재료는 개발단계에 있는 재료로서 아직 상품명이 정하여지지 않아 본논문의 이후부터는 Du Pont로 명명하기로 한다.

2-2. 실험방법

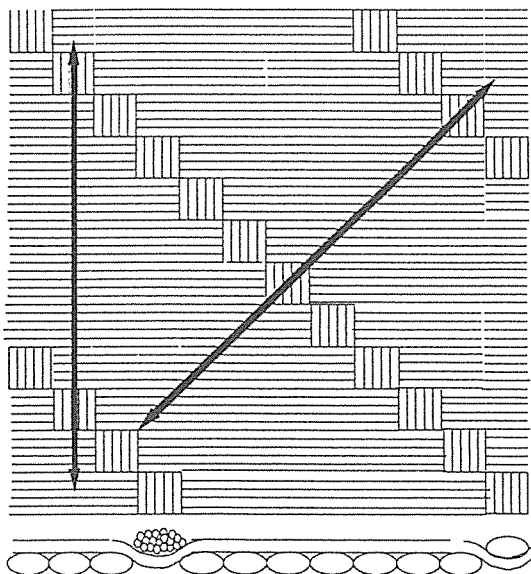
두가지 재료의 원판으로부터 워터젯트를 이용하여 시험편의 길이가 섬유방향과 평행인 것과 45° 방향이 되도록 JIS 표준인장시험편을 잘라내고 SUS304의 탭을 부착하였다. 또 시험편의 전면과 후면에 스트레인 게이지를 부착하였다. Fig. 1은 각각의 시험편에 強化된 纖維시트의 구조와 시험편의 절취방향을 보여주고 있다.

AE의 계측을 위하여 먼저 180 KHz의 공진형 AE變換子の 교정을 행하고 여기에서 감도가 같은 센서만을 두개 선택하여 시험편의 양단에 부착하였다. 이렇게 준비된 시험편에서 시험편의 판내를 傳播하는 탄성파의 음속과 탄성율, 분산효과, 감쇠효과 등을 측정하고 소음제거를 목적으로 시험편의 여러곳에 일정한 하중의 가상 모노폴음원을 만들어 실험하는 펜슬심 압력試驗을 행하였다.

Fig. 2는 실험방법과 장치를 보여주고 있다. 시험편은 크로스헤드 속도 0.02mm/min로 하중을 가하여 인장試驗을 행하면서 하중과 변위는 각각 로드셀과 스트레인게이지로부터 A/D變換子를 통하여 50ns 속도로 개인용컴퓨터에 받아들였다. 또한 이때에 발생하는 AE신호는 시험편의 양단에 붙인 AE센서에서 검출하여 샘플링 속도 50ns, 파형 크기 2Kword로써 AE解析장치에 수록, 解析하였다.



(a) DUPONT



(b) NACALOCERAM

↔: cutting direction of specimens

Fig. 1. The geometry of woven Structures in (a) Du Pont and (b) Nicaloceram.

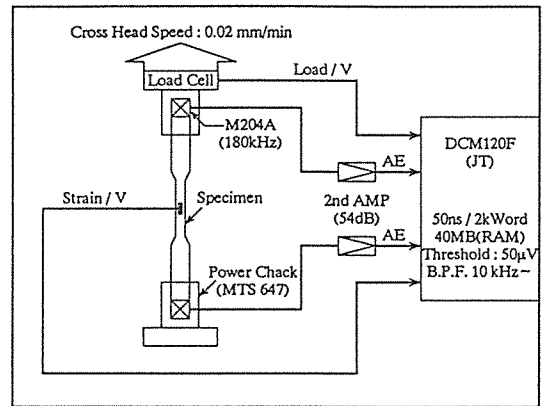


Fig. 2. The block diagram of measurement system.

3 결과 및 고찰

3-1. 응력-변형률곡선과 복합체의 탄성계수

본 연구에서는 모재용 소재로서 분말을 사용하는 경우인 슬러리법에 의하여 제작된 SiC/SiC 복합재료인 Nicaloceram과 CVI법에 의하여 제작된 Du Pont의 기계적 물성 등은 Table 1에서 보여주는 바와 같다. 두재료의 탄성계수는 단일체 SiC세라믹재료가 300-500GPa인것에 비해 너무 낮은 탄성율을 갖고 있으나 이는 재료에 포함된 기공의 영향이 클것으로 생각된다.

한편 탄성체내를 傳播하는 탄성계수와 판내를 傳播하는 종파속도사이에는 식(1)과 같은 관계가 성립한다.

$$V_L = \left[\frac{E}{\rho(1-\nu^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 V_L 은 판내를 傳播하는 종파의 속도, 그리고 E 는 탄성계수, ρ , ν 는 각각 밀도와 푸아송비로써 일반적으로 세라믹 복합재료의 푸아송비를 0.2-0.25정도로 가정했을 때 Table. 2에서는 이와같은 관계를 이용하여 펜슬압식試驗으로 측정한 종파속도를 이용하여 구한 각 재료의 탄성계수와

Table 1. Mechanical properties of woven fiber reinforced SiC/SiC ceramic matrix composites

	Nicaloceram	Du Pont
Fiber Volum Fraction (Vol %)	40	40
Fiber Filament Radius (μm)	7	7
Fiber Yount's Modulus (GPa)	220	220
Composites Young's Modulus (GPa)	56.2	244.9
Bulk Densities ($10^3/\text{Kg/m}^3$)	1.9	2.3
Porosity (Vol %)	22.7	10
Tensile Strangth (MPa)	82	162
Interlaminar Shear Strangth (MPa)	15	2

Fig. 3의 응력-변형률곡선으로부터 구한 탄성계수를 보여주고 있다. 두가지 방법에 의해 구하여진 탄성계수는 약간의 차이를 보여주고 있으나 탄성파에 의한 방법은 여러가지 변수를 제거하고 단순

Table 2. Elastic modulus of composites obtained by elastic wave and stress-strain relationship

		Elasticity of Composites(GPa)	
		by velocity of Elastic Wave	by Stress-Strain
Nicaloceram	0°	32	56.5
	45°	-	36.2
Du Pont	0°	200	244.9
	45°	190	239.9

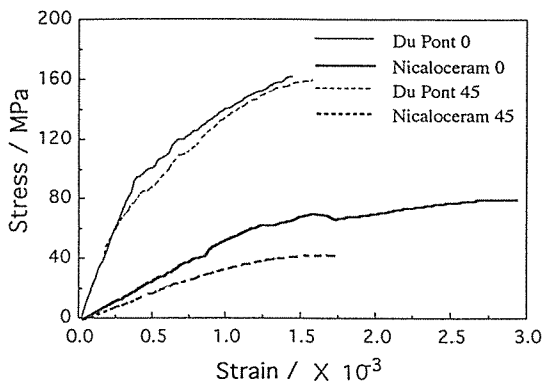


Fig. 3. The stress-strain curve of various SiC/SiC during tensile test.

화 시킨것을 고려할때 좋은 일치라고 할 수 있다.

또 兩 複合材料에는 같은 強化纖維가 포함되어 있으므로 Nicaloceram와 Du Pont의 탄성율이 다른 이유는 단지 모재의 탄성계수가 다르기 때문이다. 따라서 Nicaloceram에 있어서 纖維의 탄성율이 220GPa인것에 비해 복합체의 탄성율이 56GPa에 지나지 않아 모재의 탄성율은 纖維에 비해 굉장히 낮다는 것을 알 수 있다.

그러나 Du Pont의 경우는 纖維의 탄성율과 복합체의 탄성율이 거의 같은 값으로 나타나 모재의 탄성율과 纖維의 탄성율 사이에는 큰 차이가 없을 것으로 이해된다.

한편 Nicaloceram의 경우에 있어서 45° 방향의 탄성계수가 0° 방향에 비해 거의 60%정도로 나타났을 뿐만 아니라 최대 인장강도와 탄성율 또한 45° 방향의 경우가 0°에 비해 거의 60%정도로 나타나 상당한 異方性을 보여주고 있다. 그러나 Du Pont에서는 탄성파의 傳播속도에 의해 구한 탄성계수와 응력-변형률곡선으로부터 구한 탄성계수에 있어서 0°의 탄성계수와 45°의 탄성계수가 거의 같은 값으로 나타났을 뿐만 아니라 인장강도 변형률 또한 거의 변화가 없어 異方性이 없는 것으로 판단된다.

Fig. 3은 인장하중 때의 각 시험편에 대한 응력-변형률곡선이다. 응력-변형률곡선에서 보여주는 바와 같이 Du Pont의 0° 방향의 최대 인장강도는 162MPa로써 Nicaloceram의 0° 방향보다 거의 200% 크게 나타났다. 또 Du Pont의 45° 인장강도가 0° 방향과 차이가 없기때문에 Nicaloceram의 45° 방향의 인장강도와 차이가 더욱더 커지게 되었다.

3-2. AE에 의한 균열 位置解析

Fig. 4는 시험편이 인장시험에서 완전히 파단된 후 사진이다. 여기에서 보여주는 바와 같이 Nicaloceram의 경우는 纖維의 強化방향이 하중방향의 0° 방향의 시험편과 45° 인 시험편에서 각각 채널 1을 기준으로 하여 L=35mm, 60mm의 位置에서 시험편이 파단면을 형성하였다. 또 Du Pont의 경우는 纖維의 방향이 0° 인 시험편과 45° 인 시험편에서 각각 L=68mm, 38mm에서 破壞가 일어났다.

Fig. 5는 AE에 의한 각 시험편의 균열 位置 標定

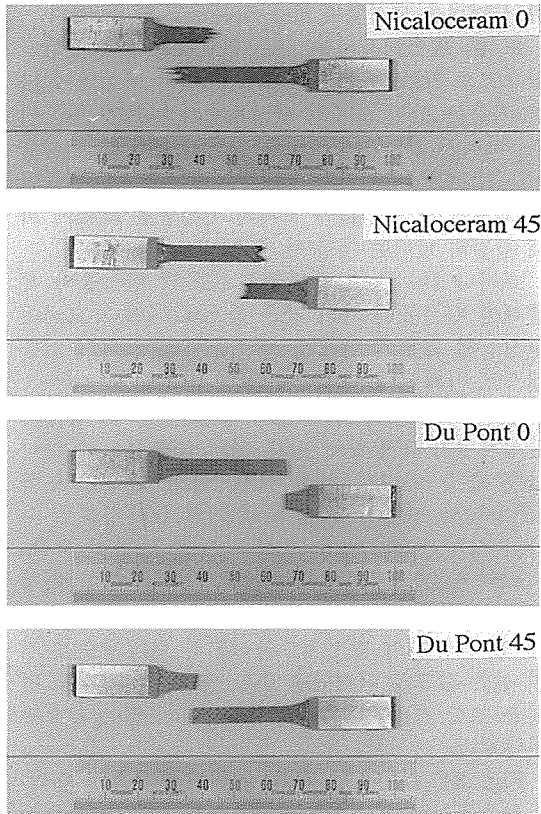


Fig. 4. The side view of specimens after final fracture.

을 한 결과이다. X축은 시험편의 하중방향에 대한 채널 1으로 부터의 거리를 나타내고 Y축은 각 위치에서 일어난 이벤트수를 나타내고 있다. 또 Fig. 4와 Fig. 5를 비교해 보면 양 시험편 모두 AE의 이벤트수가 가장 많은 곳에서 파단면이 형성되어 있음을 확인할 수 있다. 따라서 AE에 의한 파단면 위치의 결정과 시험상의 파단면 위치와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

단 上記의 兩位置의 오차는 2mm정도로써 직경 4mm의 AE센서를 부착할 때 일어나는 오차를 감안할 경우 아주 정밀도가 높고 만약 시험편이나 구조물의 크기가 커지면 커질수록 오차는 작아진다.

한편 Nicaloceram의 경우는 시험편의 파단면이 형성된 부분에서 많은 AE신호가 발생된 반면 Du Pont의 경우는 시험편의 전반적인 부분에서 거의

일정한 수의 AE신호가 발생되었음을 나타내고 있다. 따라서 Du Pont의 경우는 파단면을 벗어난 많은 곳에서 多重破壊가 발생한다는 정보를 제공하

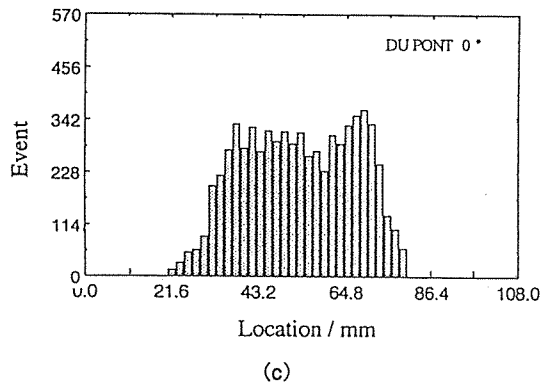
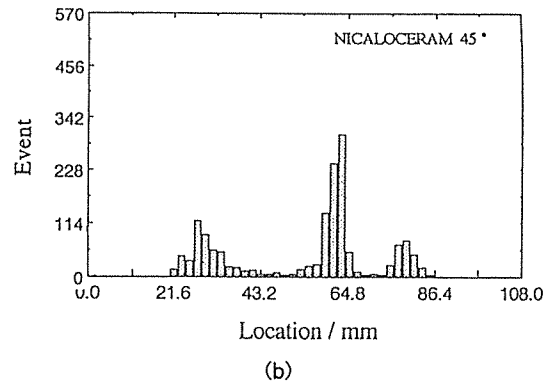
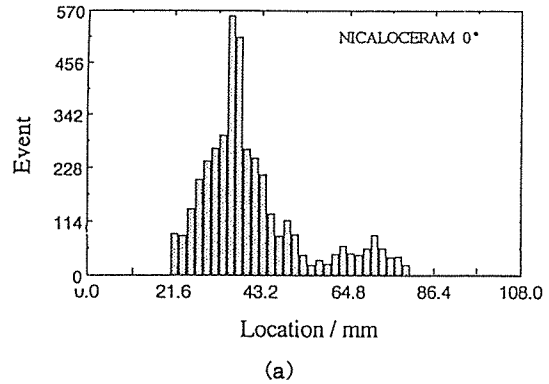


Fig. 5. Location analysis of cumulative AE event during tensile test for Nicaloceram and Du Pont with different fiber direction.

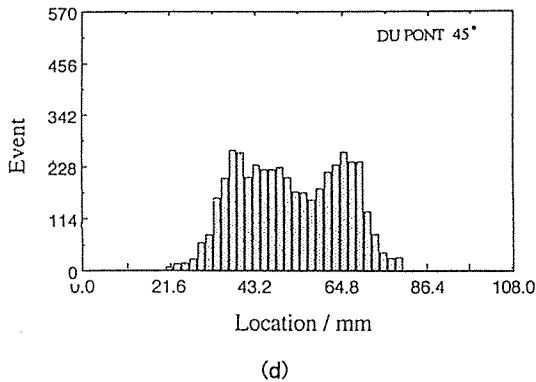


Fig. 5. Continued.

고 있다. 그러나 Nicaloceram의 경우는 파단면의 가까운 일정한 구간에서만 특히 많은 균열이 발생하였음을 보여주고 있다. 이러한 현상의 가장 주된 원인은 纖維와 모재의 탄성율과 纖維와 모재사이의 접착강도에 기인하는것으로 알려지고 있다.[16]

3-3. AE신호의 振幅分布解析

Fig. 6는 인장試驗 동안에 측정된 AE신호의 피이크파의 振幅分布를 변형 180 씩 나누어 표시한 3차원 그래프 이다. 일반적으로 직물 纖維強化 세라믹 複合材料는 모재에는 많은 결함이 포함될 수밖에 없는 것이 큰 문제로 되어 있다. 또 纖維의 열화는 일어날 수 있으나 자체의 결함은 거의 없다. 특히 Nicaloceram의 경우는 纖維의 탄성율이 모재의 탄성율에 비해 굉장히 크기때문에 纖維의 파단에 의해 방출되는 AE의 에너지는 모재의 破壞에 의해 방출되는 AE에너지 보다 클 것이므로 신호의 피이크파의 振幅이 클 것으로 생각되어 진다.

이와 같은 생각을 바탕으로 하여 Nicaloceram의 纖維방향이 하중방향에 대해 0°인 경우의 AE신호의 振幅分布를 解析해 본 결과 시험편의 변형초기에는 高振幅의 신호는 거의 없고 1.5V이하의 저振幅의 신호만이 대부분을 차지하고 있으나 변형이 진행됨에 따라 中振幅의 신호가 상대적으로 많이 발생하고 파단직전에 이르러서는 갑자기 많은 6V 이상의 高振幅의 신호가 계측되었다.

이 결과로 미루어 보아 試驗초기에는 모재의 균열이 지배적으로 일어나고 변형율이 높아짐에 따라 모재의 균열이 纖維다발을 만났을 때 纖維를 파단하면서 성장하지 못하고 모재와 纖維다발 사이의 결합력이 취약한 界面을 따라 균열성장을 일어

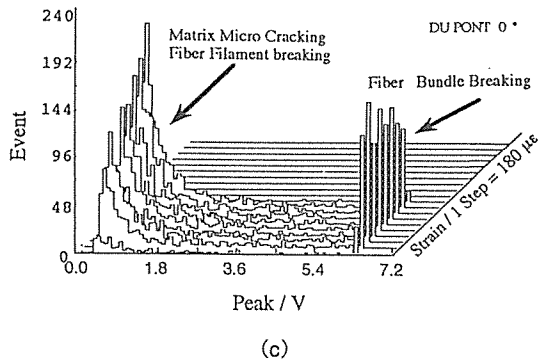
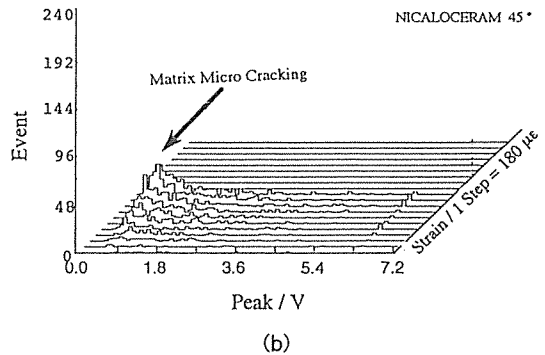
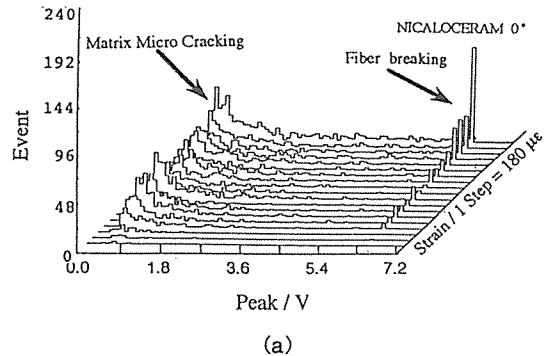


Fig. 6. Change of AE amplitude distribution with strain during tensile test.

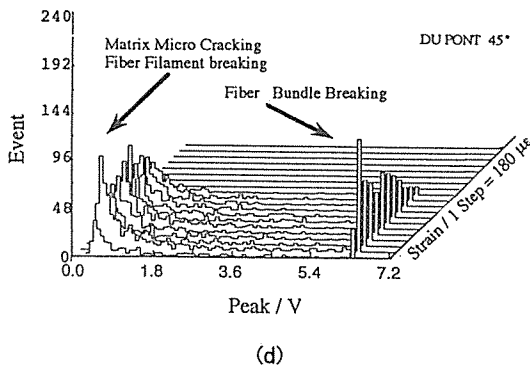


Fig. 6. Continued.

키는 Debonding이 일어난다. 또 파단직전에 이르러서야 纖維다발의 파단이 집단적으로 일어나게 된다. 이와 같이 纖維의 破壞가 최후에 일어나는 경우에는 纖維다발의 뿔힘현상이 보이게 된다.

한편 纖維방향이 45°인 경우에 있어서는 초기부터 최종파단에 이르기까지 저振幅의 AE신호가 주로 계속되고 中振幅의 신호도 상대적으로 상당히 많이 발생하는 반면 6V이상의 高振幅의 AE신호는 거의 발생되지 않음으로 이 경우의 破壞는 纖維의 파단이 거의 없이 모재破壞와 Debonding에 지배되어질 것으로 판단된다.

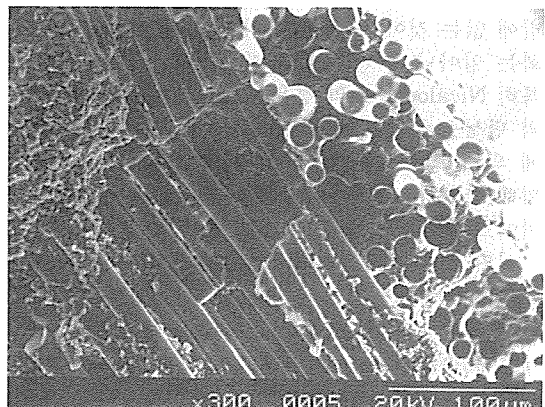
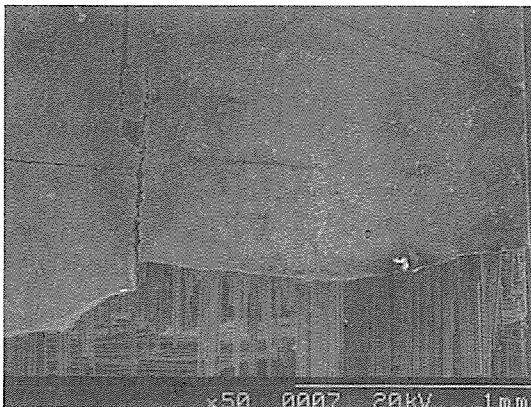
이 결과는 후술하게 될 파단면사진의 결과와 아

주 잘 일치되고 있다. 그러나 Du Pont의 경우에는 纖維의 탄성율이 모재의 탄성율과 거의 비슷함으로 인하여 만약 모재에서 일어나는 미세 균열의 크기가 纖維필라멘트의 단면적과 같다면 AE振幅도 거의 같은 크기로 나타날 것이다. 그러나 纖維다발이 일순간 파단되는 纖維다발破壞가 일어날 경우 큰 振幅의 AE신호가 발생될 것으로 생각되어질 수 있다. 이것을 기초로 하여 Du Pont의 인장試驗에서 일어나는 AE振幅分布를 解析해 본 결과, 纖維의 配向방향에 관계없이 양시험편에서 공히 試驗의 초기에 저振幅의 신호와 동시에 高振幅의 신호가 동시에 발생, 계속됨으로써 모재에서 발생된 미세 균열이 합쳐되어 진전할 때 纖維다발을 차례로 破壞해가면서 진전할것으로 解析되어질 수 있다.

이와 같이 균열이 진전할 경우는 모재의 균열이 纖維에 닿았을때 纖維의 界面을 타고 진전하지 못함으로 인하여 모재균열에 의해 纖維에 응력집중이 발생해 纖維의 다발破壞가 유발되고 파단후 파단면에 纖維다발의 뿔힘현상이 거의 보일 수 없게 된다.

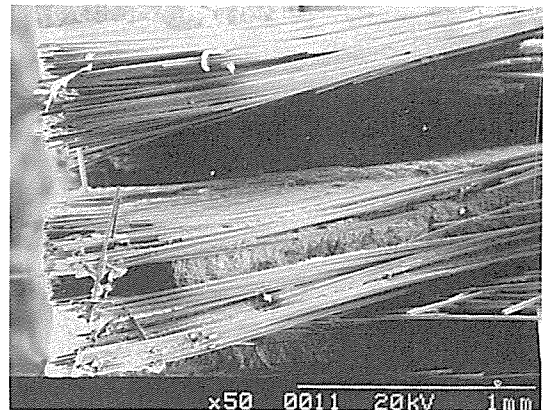
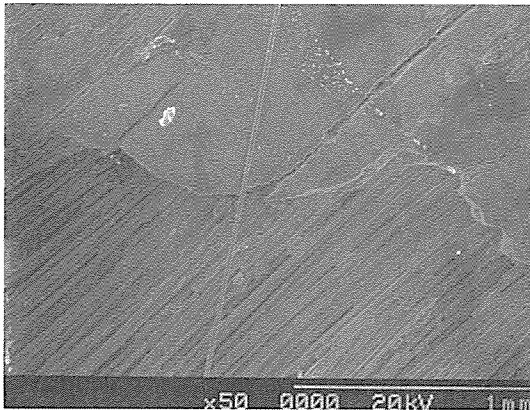
3-4. 파단면 사진과 破壞機構

Fig. 7는 Nicaloceram의 纖維 配向角이 0°인 시험편과 45°인 시험편이 파단된후 시험편의 측면 사진과 파단면사진이다. 사진에서 보여주는 바와 같이 纖維 配向角이 0°인 시험편에서는 파단면의 주변에서 纖維방향에 수직하는 방향으로 균열이



(a) Nicaloceram 0

Fig. 7. Profile and fractographies of Nicaloceram with different fiber direction after final fracture.



(b) Nicaloceram 45

Fig. 7. Continued.

발생되었음과 동시에 평행한 방향으로도 균열이 발생되었음을 볼 수 있다. 纖維 配向角이 하중방향의 45° 인 시험편의 경우에서도 마찬가지로 纖維의 방향을 따라 균열이 성장하였음을 볼 수 있다.

따라서 Nicaloceram의 경우는 모재의 균열이 纖維다발을 만났을 경우 纖維와 모재의 界面을 따라 성장하는 Debonding 현상이 발생됨을 증명해 주게 된다. 또한 파단면 사진에서 보면 0° 시험편에서는 纖維破壞가 일어난 후 일어나는 纖維뿔힘현상을 볼 수 있으나 45° 의 시험편에서는 纖維가 모재에 묻혀있는 부분부터 시험편의 측면절단부까지 纖維의 파단이 일어나지 않음을 볼 수 있다.

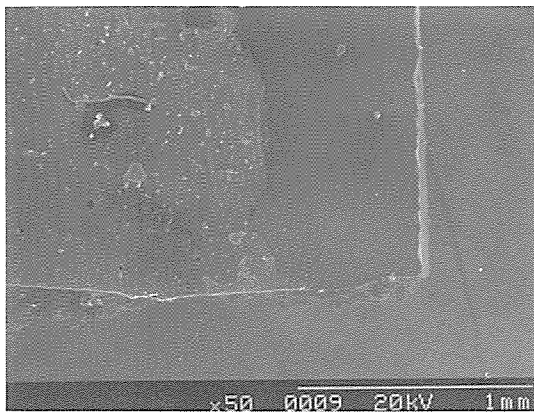
한편 Fig. 8에서는 Du Pont의 파단후 시험편의 측면에서 본 파단면의 사진과 다중파단을 식별하기 위한 파단면에서 임의의 거리만큼 떨어진 곳에서의 시험편의 측면 사진, 그리고 파단면 사진이다. (b) 및 (e)에서 보여주는 바와 같이 纖維의 配向角에 관계없이 파단면 뿐만 아니라 시험편의 전체적인 부분하중 방향에서 수직한 방향으로 이와 같은 많은 미세 균열들이 연결되어 지고 있는 것을 볼 수 있어 많은 부분에서 모재와 纖維의 다발적인 破壞(multiple fracture)가 일어남을 볼 수 있었다. 또 이러한 균열들은 하중방향에 수직하는 방향으로만 발생되었다. 또한 (c)와 (f)에서도 纖維의 配向角에 관계없이 파단면의 전자현미경사진으로 아주 짧은 纖維뿔힘 현상이 보여져 Debonding과 纖維뿔힘현상은 거의 일어나지 않는 것을 알 수 있었

다.

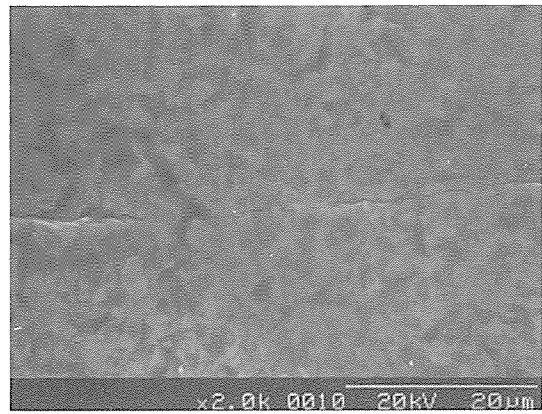
이상의 결과는 AE에 의한 균열 位置標定의 결과와 振幅分布解析의 결과와 아주 잘 일치하고 있었다. 따라서 이상의 모든 결과를 종합하여 Fig. 9와 같이 각각의 破壞機構를 확립할 수 있었다. Nicaloceram과 같이 슬러리법에 의하여 만들어진 직물纖維強化 SiC/SiC 複合材料는 纖維와 모재사이에 반응이 일어나지 않아 접착강도가 낮고 표면은 모재가 풍부하지만 纖維시트사이에는 모재의 충전이 충실하지 못하고 특히 纖維의 탄성율에 비해 모재의 탄성율이 굉장히 낮다.

따라서 Fig. 8의 (a)와 같이 하중이 가해져 변형이 커져감에 따라 하중방향에 수직으로 놓여 있는 纖維와 모재사이에 모재균열이 발생하고 이것이 纖維를 따라서 界面破壞를 일으키면서 성장해가고 하중방향에 평행인 纖維에 닿으면 界面의 접착강도가 纖維의 破壞강도 보다 낮으므로 纖維를 破壞하지 못하고 역시 평행纖維와 모재사이에 Debonding을 일으킨다. 여기에서부터 0° 의 시험편에서는 모재의 破壞에 의하여 충분한 변형이 일어난 후 纖維에 응력집중을 일으키게 되어 최후에 纖維의 파단과 纖維뿔힘현상이 일어나게 되는 반면 45° 시험편에서는 纖維의 破壞없이 연속적으로 界面破壞를 일으키면서 최종破壞에 이르게 된다.

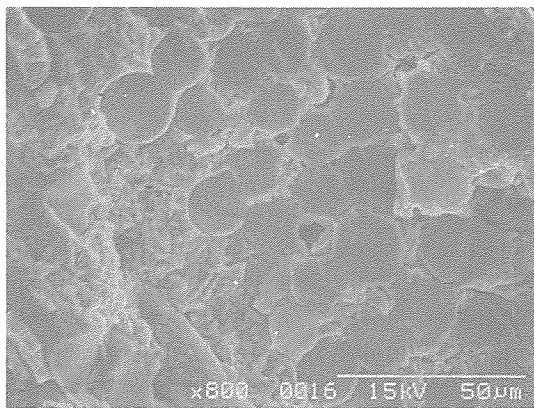
Du Pont의 경우와 같이 화학증착법에 의하여 纖維시트에 모재를 충전시킨 경우는 纖維의 표면에서의 화학반응에 의해 모재가 충전됨으로 인하



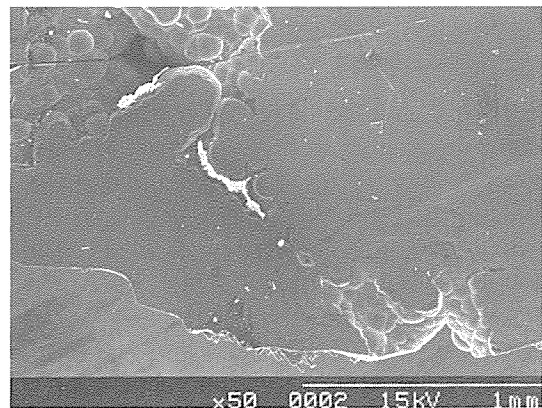
(a)



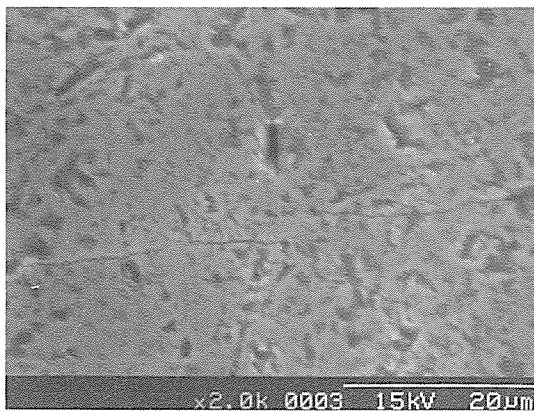
(b)



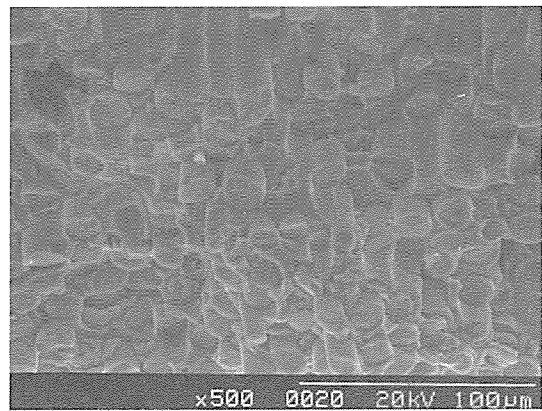
(c)



(d)

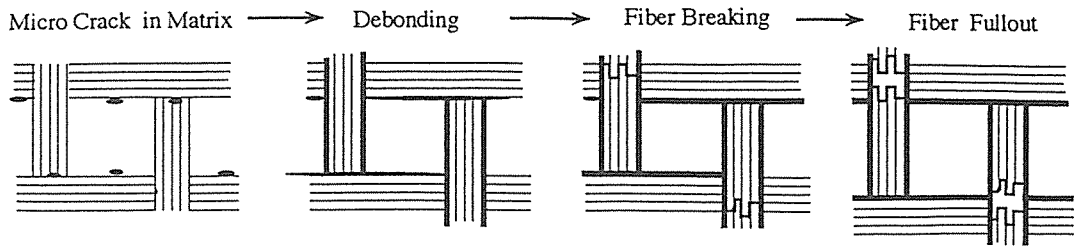


(e)

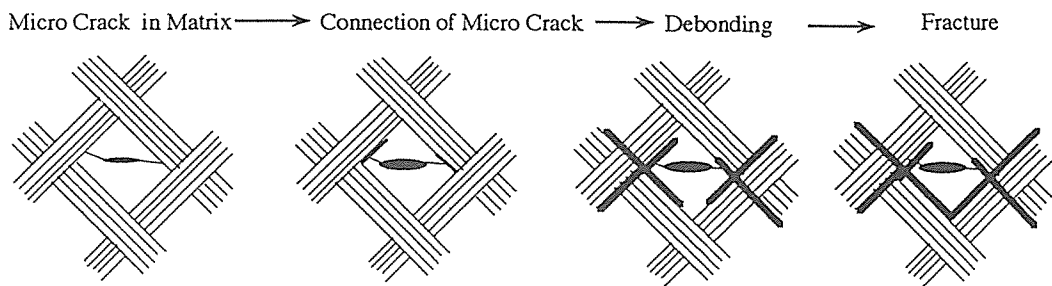


(f)

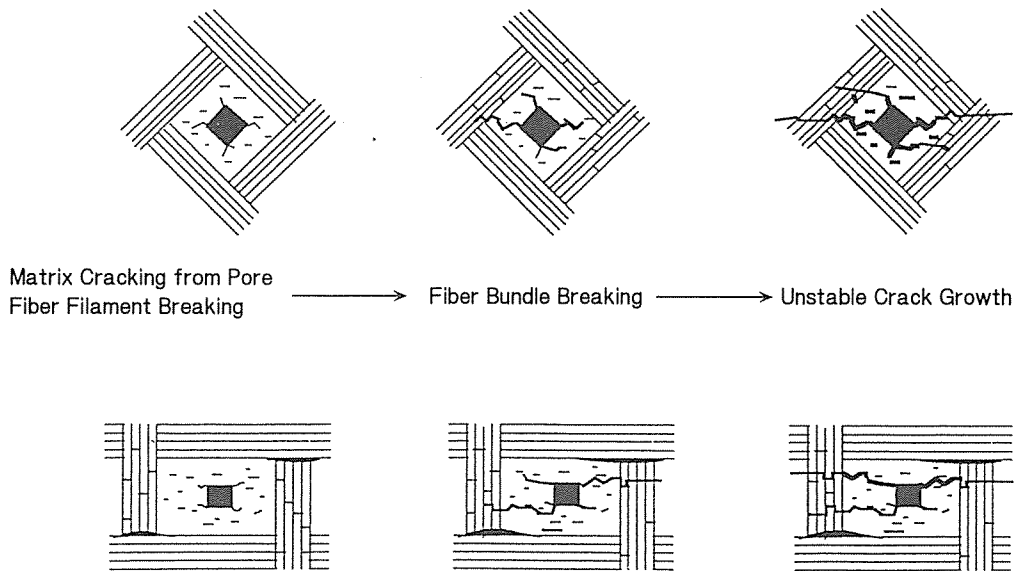
Fig. 8. Profile and fractographies of Du Pont with different fiber direction after final fracture.



(a) Nicaloceram 0



(b) Nicaloceram 45



(c) Du Pont 0 & 45

Fig. 9 Schematic representation of the fracture mechanism of SiC/SiC ceramic matrix composites.

여 접착강도가 크고 纖維가 고온가스에 장시간 노출됨으로 인하여 纖維의 열화가 심하게 된다. 이렇게 제작된 SiC/SiC 複合材料는 Fig. 9-(b)에서와 같이 纖維 配向角에 관계없이 경질과 위질이 교차하는 지점에 정사각형 또는 마름모꼴의 기공이 모재전체에 分布되어 있고 응력이 작용되기 시작하면 거의 동시에 기공의 각 모서리부분에 응력집중이 걸리게 되어 모든 기공으로부터 아주 미세한 균열이 발생한다. 변형이 점점 커지게 됨에 따라 미세균열들은 연결되면서 성장을 시작하고 균열이 하중방향에 평행한 纖維다발에 도달하면 界面의 접착강도가 강하기 때문에 Debonding을 일으키지 못하고 열화된 纖維에 곧 응력집중이 걸리게 되어 응력방향에 평행한 纖維다발을 破壞해가면서 균열이 성장하여 완전한 破壞에 이르게 된다.

4. 결 론

두가지 종류의 SiC/SiC 세라믹기 複合材料의 인장시험을 행하여 그 때 발생한 AE계측의 결과와 파단면관찰을 통하여 破壞거동을 解析한 결과로부터 다음의 결과를 얻을 수 있다.

- 1) Nicaloceram의 모재의 탄성율보다 纖維의 탄성율이 훨씬 큰 반면 Du Pont의 파단 강도는 모재의 탄성율과 纖維의 탄성율이 큰 차이가 없으므로 AE신호의 위치標定の 결과 Du Pont에서는 시험편의 전반에 걸쳐 多重破壞가 일어나는 것을 알았다.
- 2) AE에 의한 균열位置 標定과 파단면 관찰의 결과를 비교해 본 결과 AE법은 균열의 位置標定에 있어 아주 유용한 방법임을 알았다.
- 3) 복합체의 탄성율, 변형율에서 Nicaloceram의 경우는 纖維 配向角에 따라 異方性이 큰것으로 나타났다나 Du Pont의 경우는 纖維의 配向角에 무관한 것으로 나타나 異方性이 없는것으로 나타났다.
- 4) AE법에 의해 평가된 破壞과정은 Nicaloceram의 경우는 纖維 配向角에 의존 하지만 Du Pont의 경우는 纖維의 配向角에 무관한 것으로 판명되어 같은 SiC/SiC세라믹 複合材料이지만 전혀 다른 破壞機構를 갖고 있음이 판명되어졌다.
- 5) AE振幅分布와 파단면解析에 의해서 Nicaloceram에서는 高振幅의 AE는 纖維의 破壞에,

中振幅의 AE는 Debonding 또는 纖維뽑힘에 그리고 小振幅의 AE는 모재 균열에 해당되는 반면 Du Pont에서는 小振幅의 AE가 모재균열과 纖維 필라멘트의 破壞에, 高振幅의 AE는 纖維다발의 破壞에 해당되는 것으로 解析되어 AE振幅에 의한 非破壞적으로 破壞機構의 평가가 가능하게 되었다.

후 기

본 논문은 1996년도 경일대학교 일반공모과제 연구비 일부에 의하여 연구되었음을 밝히며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

5. 참 고 문 헌

1. D. B. Marshall and J. E. Ritter, "Reliability of Advanced Structure Ceramics and Ceramic Matrix Composite - A Review," Am. Ceram. Soc. bull. 66(2), pp.309, (1987).
2. P. F. Becker, and M. V. Swain, "Toughening Behavior Involving Multiple Mechanisms ; Whisker Reinforcement and Zirconia Toughening," J. Am. Ceram. Soc., 70(9), pp.651, (1987).
3. N. Clanssen and M. V. Swain, "Silicon Carbide Whisker Reinforced and Zirconia Transformation Toughened Ceramics," Mater. Frum, 11, pp. 194, (1988).
4. P. J. Lamicq, G. A. Bernhart, "SiC/SiC Composite Ceramic," M. M. Dauchier and J. G. Mace, Am. Ceram. Soc. Bull., 65(2), pp. 336-338, (1986).
5. H. Kodama, H. Sakamoto, and T. Miyoshi, "Silicon Carbide Monofilament-Reinforced Silicon Nitride or Silicon Carbide Matrix Composite," J. Am. Ceram. Soc. 72, No. 4, pp. 551-558, (1989).
6. A. J. Eckel and R. C. Bradt, "Thermal Expansion of Woven Continuous Ceramic Fiber/ Chemical-Vapor-Infiltration Silicon Carbide Matrix Composite," ibid 73, No. 5, pp.1334-1338, (1990).
7. D. Rouby, "Application of Acoustic Emission to the Micro-mechanical Characterization of Fiber-Matrix interface", JNC6

Proceeding Ed. J.P. Favre and D.Valentin, pp. 184-194, (1984).

8. M. A. Hamstad, "Testing Fiber Composite with Acoustic Emission Monitering", J. Acoustic Emission, 1, No. 3, pp.151-163,(1982).

9. 津田 浩, 岸 輝雄, "AEによるNicalon/PYREX 複合材料の破壊過程の評価", 1993 National Conf-

erence on Acoustic Emission, 社団法人 日本非破壊検査協会, 1993, pp.169-174.

10. 高島 和希, Bowen,P., "SiC/Ti合金複合材料の破壊および疲勞に伴うAE解析", 1993 National Conference on Acoustic Emission, 社団法人 日本非破壊検査協会, 1993, pp.211-214

