

흡습된 CFRP의 AE에 의한 파괴거동과 신뢰성 평가

남 기 우* · 김 선 진**
(96년 7월 1일 접수)

Fracture Behavior using AE method and Reliability Assessment of CFRP based on Absorbed Moisture

Ki-Woo Nam* · Seon-Jin Kim**

Key Words : CFRP[Carbon Fiber Reinforced Plastic] (탄소섬유강화 복합재료), AE[Acoustic Emission] Method(음향방출법), Fracture Toughness(파괴인성), Reliability Assessment(신뢰성평가), Weibull Distribution(Weibull분포), Moisture Absorption(흡습율)

Abstract

Recently carbon fiber reinforced plastic (CFRP) has been used structural materials in corrosive environment such as for water, chemical tank and pipes. However, mechanical properties of such materials may be change when CFRP are exposed to corrosive environment for long periods of time.

The degradation behavior of carbon fiber/epoxy resin composite material in distilled water is investigated using acoustic emission (AE) technique. Fracture toughness tests are performed on the compact tension specimens that are pilled by two types of $[0_2/90_2]_{3s}$ and $[0/90]_{6s}$. During the testes, AE test was carried out to monitor the damage of CFRP by moisture absorption. The data was treated by 2-parameter Weibull distribution and the fracture surface was observed by scanning electron microscope.

1. 서 론

최근 에너지 절약 및 신소재 개발의 일환으로 재료의 고강도, 경량화 및 내열화 등의 고기능성을 구비한 재료의 개발이 활발히 추진되고 있다. 이러

한 추세에서 고분자 재료를 모재로 하는 복합재료인 섬유강화 수지(FRP)는 비강도가 크고, 내식성, 절연성 및 경량성 등이 뛰어나 스포츠 용품에서부터 자동차, 건설, 우주·항공분야 및 해양개발 기기 등에 이르기까지 거의 모든 산업분야에 이르기

* 부경대학교 공과대학 재료공학과

** 부경대학교 공과대학 기계공학과

까지 그 사용과 응용의 범위가 광범위하다^{1,2)}. 이와 같이 FRP가 널리 사용됨에 따라 재료의 성능 향상, 안전성 및 신뢰성 평가 등을 위하여 균열을 가진 FRP의 구조물이나 기계 부품들에 대한 파괴거동의 검토가 시급히 요청되고 있는 실정이다³⁻⁵⁾. FRP재와 같이 재질에 이방성이 나타나고, 또 불균질인 재료에 있어서는 강도의 변동이 금속재료에 비하여 크다고 예측된다. 따라서, 저자등은 CFRP에 대한 강도 데이터의 통계적 특성을 고찰한 바 있다⁷⁾.

FRP는 다습한 환경에서의 부식에 더욱 잘 견딜 수 있어, 수분과 접촉되는 곳에서의 구조 재료로서 사용되기도 한다. 그러나, 이러한 부식환경 하에서 수분의 흡수에 의하여 모재, 섬유 및 섬유와 모재와의 계면열화가 발생하여, FRP의 물성이 저하하게 된다^{7,8)}. 따라서 이러한 변화에 미치는 수분의 영향을 이해하는 것이 아주 중요하다. 습한 환경에서의 FRP의 파괴인성의 평가는 실용적인 측면에서도 아주 필요하다고 사료된다.

한편, 비파괴 검사법의 하나인 AE법은 1950년대 독일의 Joseph Kaiser가 인장강도의 실험에 이용하기 시작하여 현재 결정의 파괴균열의 발생과 전파등 재료의 미시적, 동적 파괴기구를 탐지 및 감지하는 유력한 비파괴 기술로 사용되고 있다⁹⁾. 이러한 AE법은 현재 FRP에 대하여 적용되고 있으며, 이에 의한 FRP의 손상기구와 관련하여, FRP의 특성을 이해하려는 연구보고가 있다¹⁰⁻¹³⁾.

본 연구에서는 탄소섬유강화복합재료(CFRP)를 가혹한 환경(중류수에 침적)하에서의 파괴 거동과 파괴인성치의 통계적성질을 고찰하였다. 또한 침적 재료의 파괴인성과 AE신호와의 상관성도 검토하였다.

2. 흡습율과 확산계수

복합재료에서 흡습은 수분의 증기압에 의해 복합재료 표면을 통한 물분자의 이동과 섬유와 모재의 계면 및 모재의 기공 사이로의 모세관 현상에 의한 물분자의 이동 등에 의해 복합재료내부로 확산된다. 이렇게 흡습된 수분은 복합재료 내부에서 결합이나 기공의 생성, 기지손상, 섬유의 침식, 섬

유-기지의 분리, 섬유표면에서의 화학적 반응 등의 결과를 초래하게 되어, 복합재료의 물성을 저하시키고, 요구되는 특성을 변화시켜 적정목적을 수행하기에는 불만족스러운 상태가 된다.

섬유강화 복합재료(FRP)가 다습한 분위기에 노출되어 있을 경우, 수분의 흡습율은 식(1)에 의하여 구할 수 있다¹⁴⁾.

$$M = \frac{W_a - W_b}{W_b} \times 100 \quad (1)$$

여기서,

M : 수분흡습율 (%)

W_b : 흡습전(before)의 시험편 무게(g)

W_a : 흡습후(after)의 시험편 무게(g)

여기서, 재료는 두면이 외부에 노출되어 있고, 재료내부의 온도와 수분 분포는 일정하며, 재료 주위의 수분량과 온도 또한 일정한 것으로 간주할 때 수분의 흡습동안, 재료의 흡습량은 식(2)와 같다.

$$M = G(M_m - M_i) + M_i \quad (2)$$

M_i : 재료의 초기 수분량

M_m : 주어진 환경하에서의 최대 수분량

여기서, G 는 시간의존 변수로서 다음과 같다.

$$G = 1 - \frac{8}{\pi} \sum_{j=0}^{\infty} \left\{ \frac{1}{(2j+1)^2} \exp \left[-\frac{\pi^2 D_i}{B^2} (2j+1) \right] \right\} \quad (3)$$

D_i : 표면에 대해 수직 방향으로의 확산계수

B : 시험편 두께

Fig. 1은 다습한 환경에 오랫동안 복합재료를 놓아둔 경우, 흡습량(M)과 시간의 제곱근(\sqrt{t})와의 관계를 나타내는 모식도이다. 복합재료의 흡습량과 시간의 그래프에서 초기($t < t_L$)의 곡선은 직선이고, 시간의 증가와 함께 비례적으로 흡습량이 증가하다가 점차적으로 일정한 최대수분량(M_m)에 접근하고, 최대수분량 도달시간($\sqrt{t_m}$) 이후에서는 평형이 유지된다. 이때의 확산계수는 기울기와 같다. 확산계수는 아래와 같은 식(4)에 의해 구할 수

있다¹⁴⁾.

$$D = \pi \left(\frac{B}{4M_m} \right)^2 \left(\frac{M_2 - M_1}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}} \right)^2 \quad (4)$$

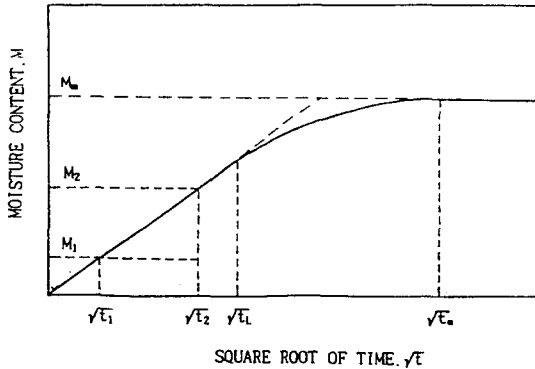


Fig. 1 Illustration of the change of moisture content with the square root of time (For $t < t_1$ the slope is constant)

3. 실험

3.1 시험편 및 실험방법

본 연구에 사용된 실험재료는 탄소섬유/에폭시 수지의 프리프레그(CU 100NS)를 적층성형하여 사용하였다. 시험편은 $[0/90]_{6s}$ 와 $[0_2/90_2]_{3s}$ 와 같이 서로 다른 적층형식으로 24ply를 사용하여 적층성형하였고, 각각의 섬유중량비는 63.22wt%와 64.12wt%이다. 적층성형시의 성형온도 사이클(Curing Temperature Cycle)은 Fig. 2와 같고 상온에서 공냉하였다.

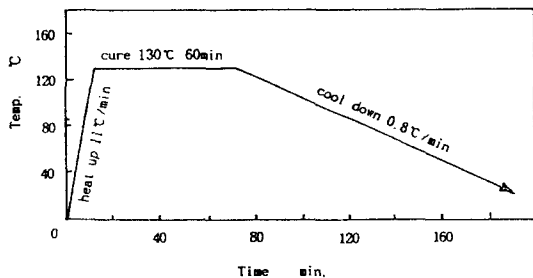


Fig. 2 Curing cycle of CFRP specimen

흡습에 의한 파괴인성 값을 측정하기 위해 사용된 CT시험편의 형상과 크기는 Fig. 3과 같다. 본 흡습실험에 사용된 복합재료는 수분이외의 다른 요소의 영향을 적게하기 위하여 증류수를 사용하였고, 시험편이 충분히 물과 접촉하도록 하였다. $[0/90]_{6s}$ 와 $[0_2/90_2]_{3s}$ 의 두 종류로 적층성형한 적층판은 Fig. 3과 같은 CT시험편을 만들어, 0, 7, 15, 30, 60, 90, 120일 동안 각각 10개씩 120개(단, 120일의 경우는 각각 4개씩 사용하였다.)를 증류수에 침적시켜 사용하였다. CT시험편의 두께는 2mm이다. 시험편의 무게는 침수전에 정밀저울로 측정하고, 각 침수시간에 따라 시험편을 실온상태에서 표면의 수분을 제거한 후, 흡습에 의한 시험편의 무게 변화를 측정하였다.

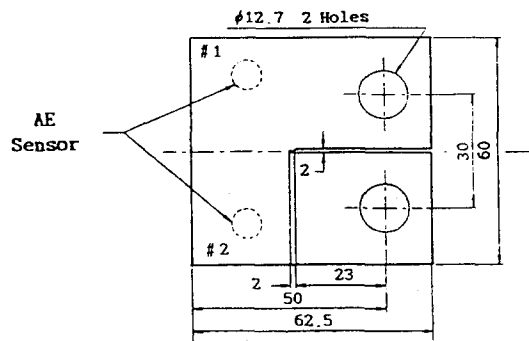


Fig. 3 Shape and dimension of CT specimen

시험편의 노치는 다이아몬드 휠톱을 사용하여 도입하였다. 예비균열은 두께 0.2mm의 예리한 휠톱을 사용하였다. 실험에 사용한 시험기는 최대하중 5톤의 만능시험기를 사용하였고, 크로스 헤드 속도는 0.5mm/min로 하였다. 이때 AE의 발생을 계속 평가하기 위하여 사용된 AE시험 장치는 LOCAN 320을 사용하였다.

CT시험편을 인장할 때, 복합재의 내부에서 발생하는 방출 AE신호를 측정하기 위하여 고감도 AE센서(R15, 150kHz)를 시험편 두 곳에 접촉매질(acoustic couplant)을 사용하여 적절한 작동 parameter들을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 AE instrumentation and operating parameters

AE system	Model LOCAN 320
AE transducers	PZ type R-15 150kHz resonance frequency
pre-amplifier	Model 1220A 40dB fixed gain 100-300kHz filter
main-amplifier	30dB gain
threshold voltage	0.2V(65dB:gain+threshold)

3.2 파괴인성평가

재료의 파괴인성값을 구하기 위한 파괴인성시험은 CT시험과 3점 굽힘(three point bending)시험등이 ASTM규격 E399규격화되어 있다. 복합재료의 파괴인성평가에 있어서는 시험편의 치수, 하중의 부하방법 및 균열길이 등의 영향을 받는 경우가 많다. 파괴인성 K_{Ic} 는 초기균열을 가공한 시험편의 하중-변위선도로부터 구해지는 변수로서, 하중-변위곡선이 최대하중까지 선형성을 유지하면 최대하중을 이용하여 결정하고 있다. 그러나, Fig. 4와 같은 하중-변위곡선을 나타내면, 각각에 대하여 5% off set 선을 그어서 하중-변위곡선이 만나는 점의 하중 P_Q 를 구한다. 파괴인성 K_{Ic} 를 구할 때는 그림에서 표시하는 하중 P_Q 를 사용한다. 즉, (a)에서는 $P_Q=P_S$ 가 되고, (b)에서는 P_S 에 이르기 전의 최대 하중 P_Q 가 된다.

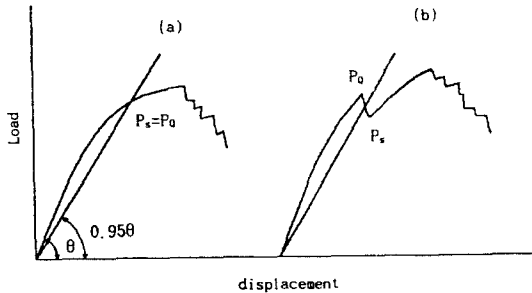


Fig. 4 Load-displacement curve during test

본 연구에서도 파괴인성의 평가는 아래와 같은

식(5)에 의하여 평가하였으며 하중 P_Q 를 식 (5)의 P 에 대입하여 파괴인성을 구하였다.

$$K_{Ic} = P/\sqrt{B\sqrt{W}} F(\xi) \quad (5)$$

$$F(\xi) = 4.55 - 40.32\xi + 414.7\xi^2 - 1698\xi^3 + 3781\xi^4 - 4287\xi^5 + 2017\xi^6$$

($0.2 \leq \xi \leq 0.8$ 에서 0.5%, Newman, $\xi = a/W$)

여기서, P : 하중, B : 시험편 두께, W : 시험편 폭, a : 균열길이, $F(\xi)$: 시험편 형상 및 부하방식에 따른 보정계수이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 흡습율에 따른 파괴인성

CFRP복합재료에서 흡습량의 증가에 따른 파괴인성을 평가하기 위해 CFRP prepreg를 적층성형한 시험편을 증류수에 침수시켰다.

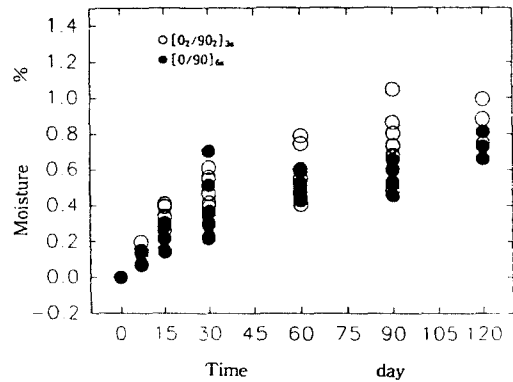


Fig. 5 Moisture contents as function of immersion time at [0/90]6s and [02/902]3s specimen

[0/90]_{6s}와 [0₂/90₂]_{3s} 두 종류의 적층판에 있어서의 시간의 변화에 따른 흡습량의 관계를 식(1)에 의해 구하여 Fig. 5에 나타내었다. 시간의 경과에 따른 흡습량의 증가는 완만한 곡선으로, 두 적층판에 있어서 서서히 증가하고 대략 120일 경에 포화

흡습율에 도달한 것으로 하였다. 그러나, 엄밀히 말하자면 아직 흡습율의 포화상태는 더욱 검토하여야 할 부분이라고 생각된다. 이때의 포화 흡습율은 $[0/90]_{6s}$ 와 $[0_2/90_2]_{3s}$ 에 대해 각각 0.732%와 0.838%이었다.

중류수에 대한 흡습의 확산계수는 Fig. 5의 선형적인 구간 $\sqrt{t_1}$ 과 $\sqrt{t_2}$ ($\sqrt{t_1}=7$ 일, $\sqrt{t_2}=60$ 일)를 식(4)에 대입하여 구하였고, 그 결과를 Table 2에 나타낸다.

Table 2 Diffusion Coefficient (D_x) of Test Specimen at distilled water

(D_x^* : diffusion coefficient at edge effect)

	$[0/90]_{6s}$	$[0_2/90_2]_{3s}$
D_x	1.865×10^{-7}	2.258×10^{-7}
D_x^*	1.548×10^{-7}	1.874×10^{-7}

두 종류의 적층판에 있어서의 흡습시간의 변화에 따른 파괴인성과의 관계를 Fig. 6에 나타낸다. 이때의 파괴인성은 식(5)에 의하여 구하였다. 그림에서 파괴인성은 큰 산포를 보이고 있지만, 흡습시간의 변화에 대해서는 그다지 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나 상세히 보면 흡습초기에는 약간 떨어지는 경향을 나타내며, 약 30일 이후부터는 일정한 양상을 띄고 있다. 하지만, 전체적 경향으로서는 그다지 큰 차이는 없다고 생각된다. 따라서, 본 연구에서 사용한 적층판의 경우에는 파괴인성의 측면에서 볼 때, 구조물의 사용환경을 고려하지 않아도 좋다고 생각된다. Fig. 7은 두 종류의 적층판에 대한 파괴인성과 흡습률의 관계를 나타낸다. 흡습량의 증가에 대하여 파괴인성은 $[0/90]_{6s}$ 의 경우에는 20~25MPa \sqrt{m} 에 수렴하고 $[0_2/90_2]_{3s}$ 의 경우에는 25~35MPa \sqrt{m} 에 수렴하고 있어, 파괴인성은 흡습율에 의존하고 있음을 알 수 있다. 그러나 각 흡습율에서는 인성이 편차를 보이고 있다. $[0_2/90_2]_{3s}$ 적층판의 경우가 흡습량이 많음에도 불구하고, $[0/90]_{6s}$ 적층판보다 다소 높은 파괴인성값을 가지는 것은 단위 층을 2층씩 적층시킨 것이 1층씩 적층시킨 것보다 층간박리가 용이하기 때문에 응력집중이 감소되어 파괴

인성은 증가하는 것으로 생각된다.

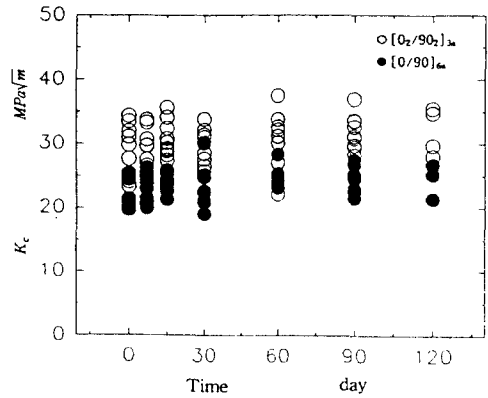


Fig. 6 Relation between fracture toughness and immersion time

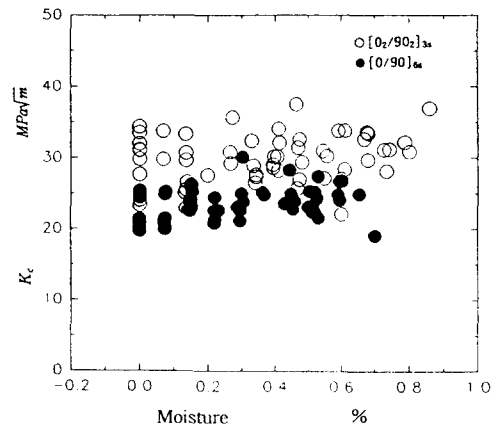


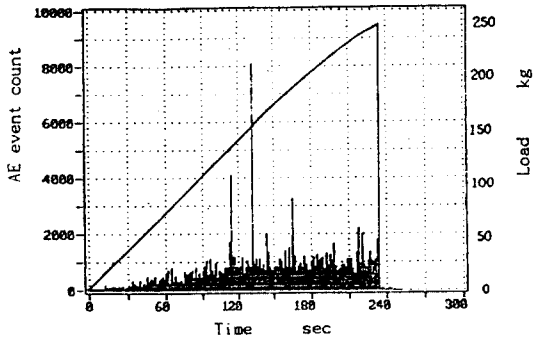
Fig. 7 Relation between fracture toughness and moisture contents

4.2 AE특성평가

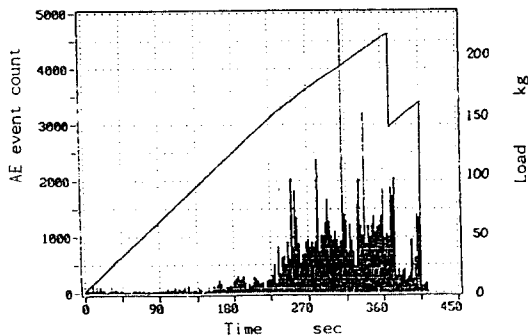
4.2.1 파괴인성 시험시의 AE의 특성

시간의 변화에 따른 CFRP 복합재료에서의 흡습량의 증가에 의한 파괴인성 시험시의 AE를 계측하여 AE특성을 조사하였다. Fig. 8에서는 $[0_2/90_2]_{3s}$ 적층 CT시편의 파괴인성 시험시의 하중-변위곡선과 AE event count의 시간적 변화를 나타낸 대표적인 그림이다. (a)는 비침수시킨 시험편(Time = 0day)의 경우이고, (b)는 60일 동안 침수시킨 시

험편(Time = 60day)의 경우이다. (a),(b)의 양쪽의 경우 하중은 하중변위의 증가와 함께 선형적인 비례를 가지고 증가하다가 최대하중점 가까이에서 비례관계를 이탈하게 되고 최대하중점에서 급격한 dropping이 발생하고, 간헐적인 pop-in과 하중 dropping이 일어난다. AE event count는 하중 증가와 함께 서서히 비례적으로 증가하다가 최대하중점 가까이에서 다소 많은 AE event count의 발생을 보이고, 최대하중점에서 peak를 보인 후 pop-in 현상과 비슷한 주기로 산발적인 AE event 가 발생한다. [0/90]_{6s}의 경우도 [0₂/90₂]_{3s}의 경우와 유사한 하중변위와 AE event count의 발생을 보였고, 둘 다 비침수시킨 시험편의 경우가 큰 AE event count의 발생을 보였다.



(a) 0(DAY)



(b) 60(DAY)

Fig. 8 AE-event counts and load vs. time curve during the test ([0₂/90₂]_{3s})

4.2.2 흡습율의 변화에 따른 AE특성

Fig. 9는 [0₂/90₂]_{3s} 적층판의 침수시간이 각각 0, 7, 15, 30, 60, 90일인 6종류의 시험편에 대한 AE event count와 AE 진폭분포의 히스토그램 그래프이다. 침수시간이 다른 각각의 6종류의 시험편에서 6종류 모두 35db 근방에서 AE event의 발생이 시작되어 40db 부근에서 최대 AE event의 발생을 보이고 있다. 더욱이, 침수시간이 증가함에 따라서 40db전후 진폭영역의 최대 AE event count가 감소함을 보이고 있는데 이러한 경향은 30일 까지 AE event count의 감소를 보이고, 그 이후는 비슷한 최대 AE event count를 보이고 있다. 그러나, 침적시간이 길어질수록 AE event 발생이 높은 진폭영역으로 이동하고 있다. 이러한 낮은 AE 진폭영역에서의 AE event는 matrix debonding이나 matrix cracking에 대응되는 부분이다.^{7,24)}

따라서, 낮은 진폭영역의 AE event count의 감소는 물의 흡습에 의한 침식의 발생으로 인해 matrix debonding이나 matrix cracking의 감소가 일어난 것으로 생각된다. 또한, [0/90]_{6s} 적층판의 경우도 비슷한 경향을 나타내었다.

Fig. 9에서와 같이 대략 35~50db 사이에서 발생한 진폭의 최대 event count를 증류수에 침적시킨 시간과의 상관관계를 Fig. 10에 나타낸다. 이 그림에서 두 적층판은 침적시간의 증가와 함께 최대event count가 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 더욱이 AE event count의 최대값은 [0₂/90₂]_{3s}의 경우가 [0/90]_{6s}의 경우보다 크게 나타내고 있다. 이것은 파괴인성이 [0₂/90₂]_{3s}의 경우가 [0/90]_{6s}의 경우 보다 높게 나타나고 있는 것과 좋은 대응을 보인다.

한편, 수분 환경에서의 흡습의 시간을 변화시켜 흡습량에 따른 적층형식을 달리한 탄소섬유복합재료의 파괴인성 및 AE 신호의 발생개수 차이를 검토하기 위하여, 각 흡습률에 따른 파단된 시험편의 파단면을 주사형 전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. Fig. 11은 평균인성치가 큰 [0₂/90₂]_{3s} 시험편의 경우를 나타낸다. Fig. 11의 (a)는 침적시키지 않은 시험편의 경우(T = 0 day)로 파괴인성 시험후의

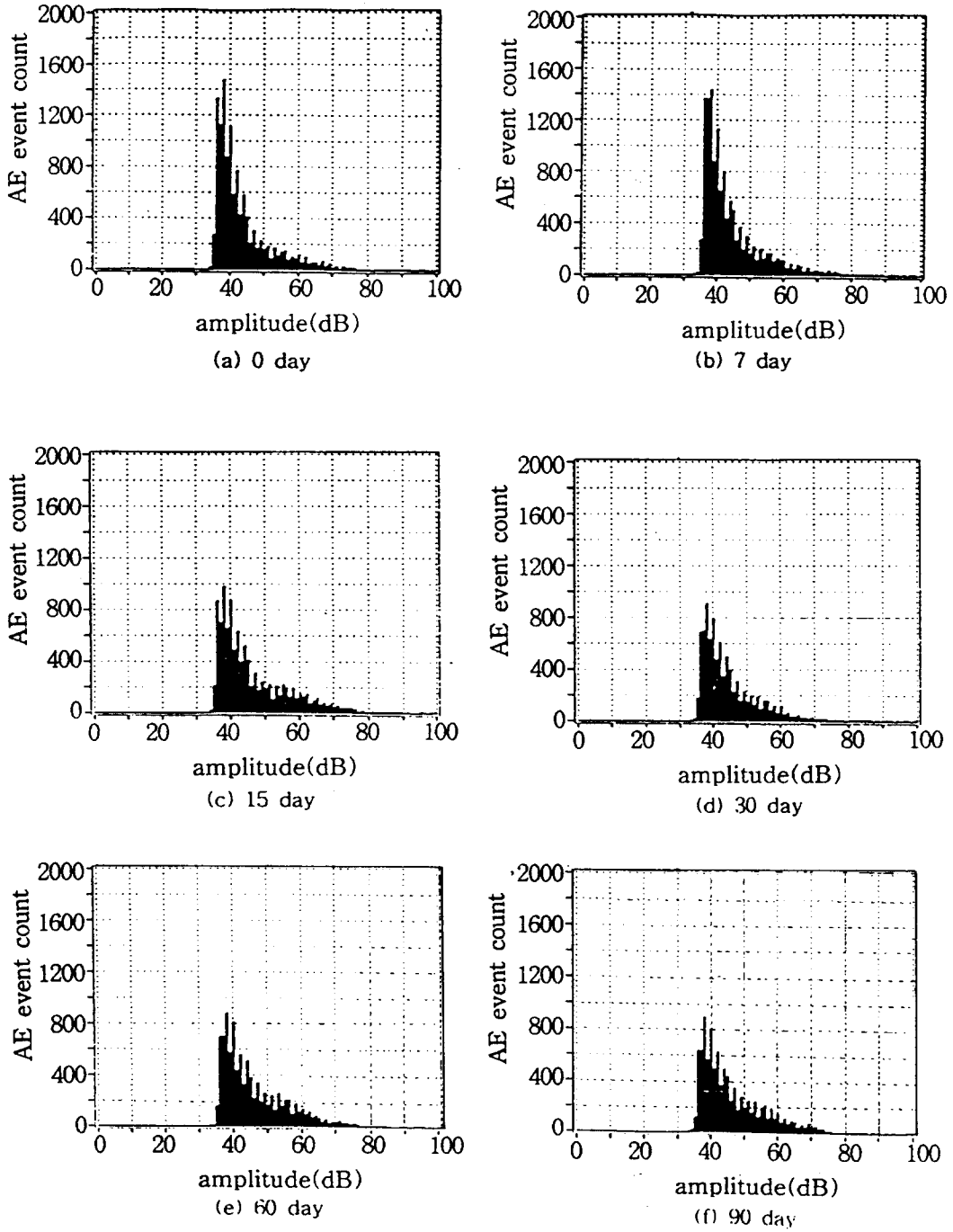


Fig. 9 AE amplitude distribution histograms

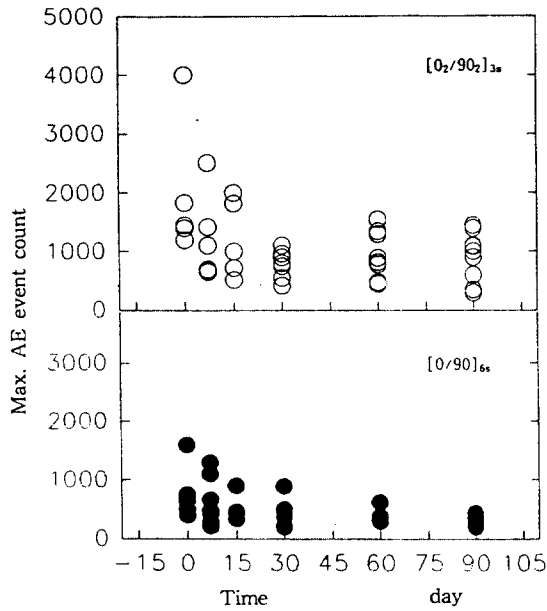
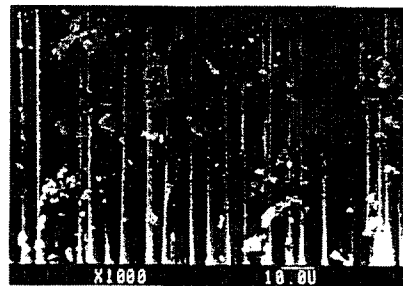
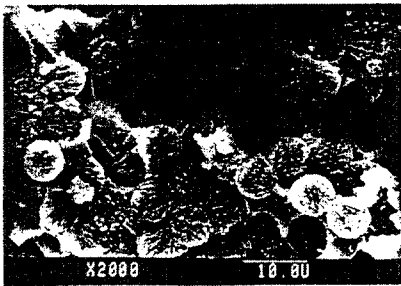


Fig. 10 Relation of maximum AE event count and time

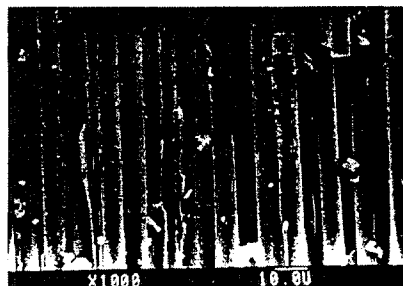
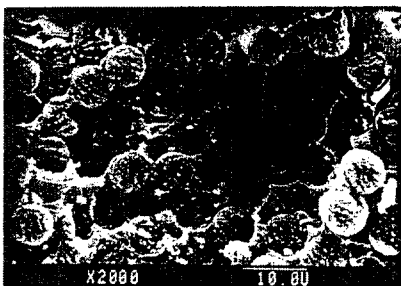
파단면의 형상을 보여주고 있다. 이 그림에서 인

발(pull out)된 섬유와 matrix의 박리의 흔적 및 섬유의 파단면 등을 관찰할 수 있다. 침적시간이 90일의 경우에는 섬유에 모재의 부착이 적고 노출된 섬유도 짧다. 이러한 차이는 섬유와 모재의 계면열화에 기인한다고 생각한다. 이러한 계면의 열화는 표면에서 침투한 물은 수지와 섬유의 접촉면에 작용하여 접촉력을 저하시켜 수지와 섬유의 박리를 일으킨 것으로 사료된다. 더욱이 섬유를 따라서 발생한 계면 틈새에 물이 모세관 현상으로 침투하여 침투압으로서 계면파괴가 촉진된다.

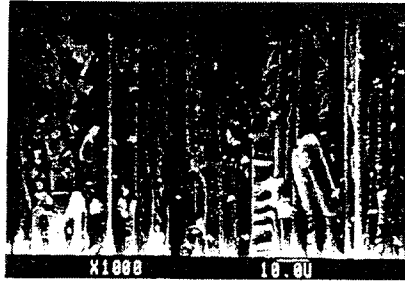
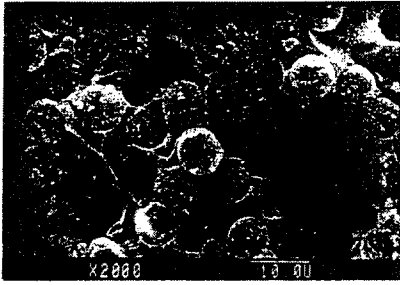
전체적으로 흡습시간이 길어질수록 인발된 섬유의 측면들이 더욱 들쭉날쭉하고 거칠어져 있는 것을 볼 수 있다. 또한 섬유의 matrix 계면은 흡습에 의해 발생한 fiber-matrix debonding은 흡습시간의 증가와 함께 더욱 다발적으로 일어나는 것을 알 수 있다. 또한 침적시간이 길어짐에 따른 AE 발생의 차이는 물의 침투에 의하여 섬유와 모재계면의 접촉강도 저하에 의한 강도저하에 의해서 에너지가 높은 AE event count의 최대값이 저하된 것이라고 생각된다.



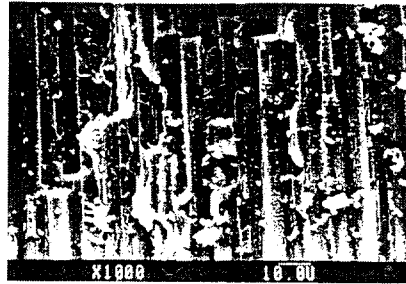
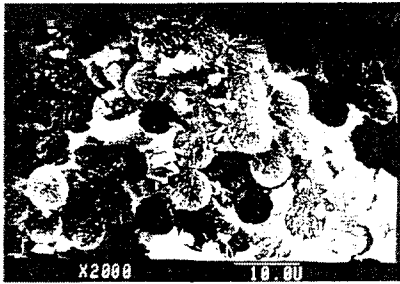
(a) 0 day



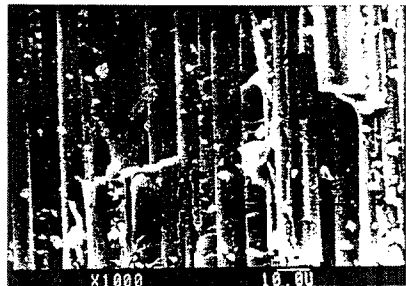
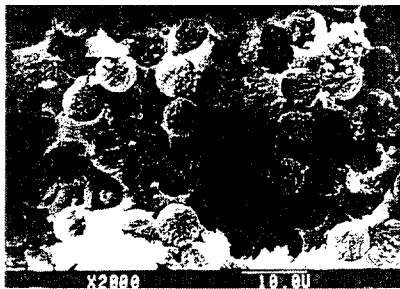
(b) 7 day



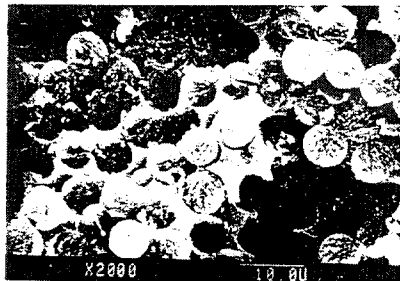
(c) 15 day



(d) 30 day



(e) 60 day



(f) 90 day

Fig. 11 SEM photograph of fracture surface

4.3 흡습율에 따른 파괴인성치의 통계적 성질

본 연구에서는 CFRP 파괴인성의 분포모델을 Weibull 분포라 가정하고, 이 분포를 특징짓는 모수를 직접탐색법에 의해 추정해 보았다. 특히, Weibull 분포는 적용성이 넓고, 수학적 취급이 간편한 다음과 같은 2-parameter Weibull 분포를 적용하였다.

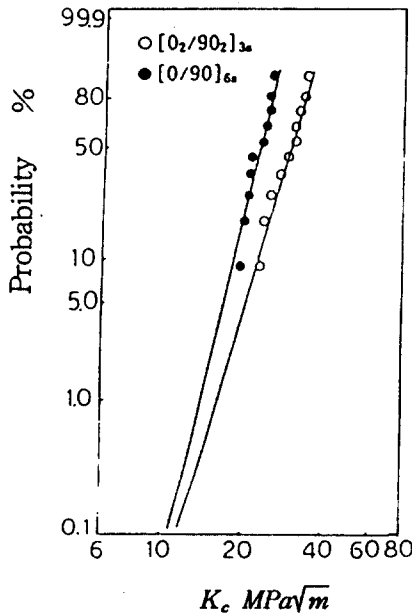
$$F(s) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{s}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (6)$$

$$R(s) = 1 - F(s) = \exp\left[-\left(\frac{s}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (7)$$

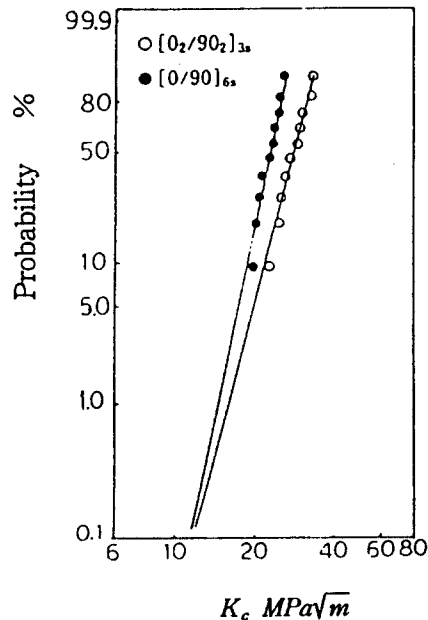
여기서, α, β 는 각각 형상파라미터와 척도 파라미터이다. Weibull 분포의 인성 기대치 $E[S]$, 분산 $V[S]$ 는 각각 다음과 같다.

Table 3 Statistical analysis of fracture toughness

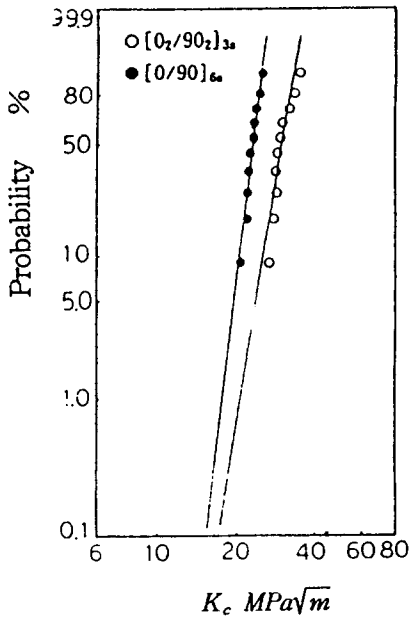
Specimen	Day	shape parameter (α)	scale parameter (β)	$E[s]$	$V[s]$	COV
[0/90] _{6s}	0	9.0	23.8	22.5	8.9	0.133
	7	9.4	24.2	22.9	8.6	0.128
	15	15.3	24.2	23.4	3.5	0.080
	30	9.0	24.0	22.7	9.1	0.133
	60	27.3	24.7	24.2	1.2	0.046
	90	10.3	25.5	24.3	8.1	0.117
[0 ₂ /90 ₂] _{3s}	0	7.1	31.3	29.3	23.6	0.166
	7	7.4	30.0	28.1	20.2	0.159
	15	11.5	31.2	29.8	9.9	0.105
	30	10.5	30.7	29.2	11.3	0.115
	60	7.0	31.9	29.8	25.1	0.168
	90	12.5	32.3	30.9	9.1	0.097



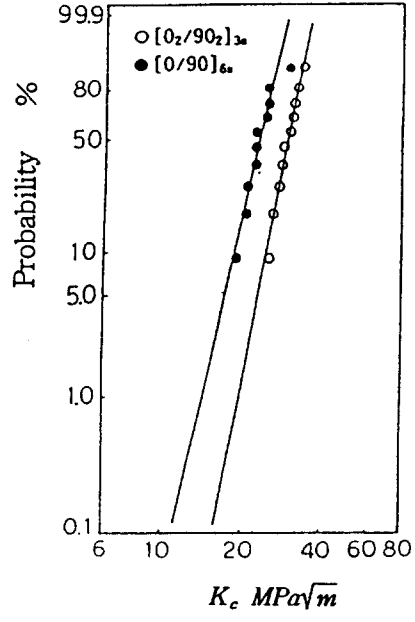
(a) 0 (DAY)



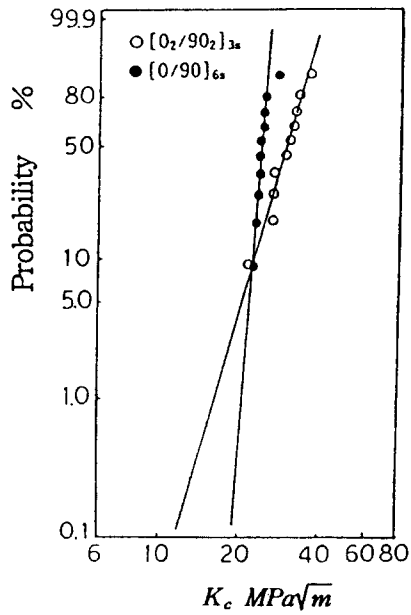
(b) 7 (DAY)



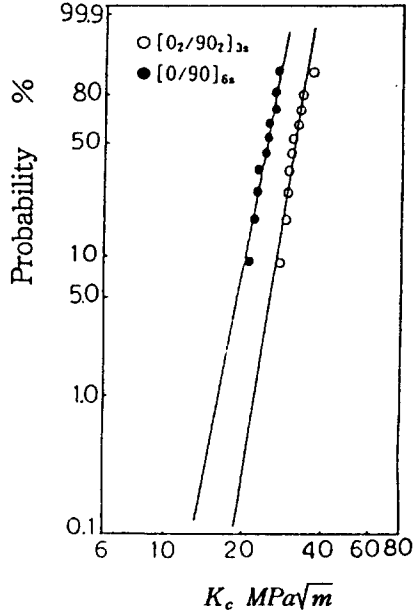
(c) 15 (DAY)



(d) 30 (DAY)



(e) 60 (DAY)



(f) 90 (DAY)

Fig. 12 Weibull plots of fracture toughness

$$E[s] = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (8)$$

$$V[s] = \beta^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right\} \quad (9)$$

실제, 파괴인성치 데이터의 일례로 본 실험에 사용한 CFRP의 경우를 Table 3에 나타낸다. 평균순위법(mean rank)에 의해서 누적확률을 구하고 각 침적일수에 대한 파괴인성치를 Weibull 확률지에 나타낸 결과를 Fig. 12에 나타낸다. 그림 중의 직선은 Table 3의 α, β 값으로 Weibull 확률지상에 분포를 나타낸 선이다. 비교적 두 적층판의 파괴인성의 분포는 침적일수에 관계없이 동일한 양상을 나타내고 있지만, 60일의 경우에 있어서는 $[0_2/90_2]_{3s}$ 의 시험편이 산포가 가장 크게 나타나고 있다. 이 경향에 대해서는 더 많은 실험을 통하여 고찰하여야 할 것으로 사료된다. 본 실험의 결과에 의하면 파괴인성치는 대체적으로 $[0_2/90_2]_{3s}$ 의 시험편이 우수한 것으로 나타나나 변동계수의 평균을 비교해 보면 13.5%로 약간 높은 값을 보였다. 일반적으로 파괴인성의 분포는 2-parameter Weibull 분포에 따르고 있음을 알 수 있다. 더 많은 실험을 통한 파괴인성의 확률분포를 명확히 하는 것은 파괴확률이나 신뢰도를 고려한 신뢰성 설계를 행하는데 아주 중요하다.

5. 결 론

다습한 환경하에서 수분의 흡습에 의한 물성의 변화를 관찰하기 위해 $[0/90]_{6s}$ 와 $[0_2/90_2]_{3s}$ 와 같이 적층방법을 달리한 탄소섬유복합재료를 증류수에 침적시켰다. 그 흡습시간의 변화에 따른 파괴인성의 변화를 관찰하고, 파괴인성 시험동안 AE를 검출하여, 흡습에 의한 손상을 AE진폭과 관련하여 관찰하고 인성치의 통계적성질을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 증류수에 침수시킨 탄소섬유복합재료의 파괴인성은 흡습율의 변화에 관계없이 비교적 일정한 값을 나타내었다.
2. 파괴인성은 $[0/90]_{6s}$ 의 적층판보다 $[0_2/90_2]_{3s}$ 의 적층판이 더 높게 나타났으며, AE event

count의 발생량도 더 많았다.

3. 흡습율이 증가할수록 낮은 진폭의 영역의 AE event count는 감소하고, 일정한 기간 이후에는 비슷한 정도의 감소를 나타내었다.
4. 파면의 SEM에 의한 관찰결과, 흡습율이 증가할수록 수지와 섬유와의 접착력을 저하시켜 수지와 섬유의 박리를 일으켜 계면 파괴가 촉진되었다.
5. 파괴인성의 분포는 2-parameter Weibull 분포에 잘 따르고 있음을 알 수 있다. 그러나 흡습율에 대하여는 많은 데이터에 의한 고찰이 요구된다.

후 기

본 연구는 1995년도 부산수산대학교(현 부경대학교) 중점연구소 연구지원사업계획 관련 연구비 지원에 의하여 수행된 결과의 일부이며 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다. 또한 실험에 있어서는 대학원생 김옥균군과 학부생 여러분께도 감사를 드립니다.

참고문헌

- 1) 홍창선, "복합재료 응용기술 및 현황", 대한기계학회지, 제34권, 제5호, pp.364-379, 1994
- 2) 정석주, "첨단복합재료에 대한 최근의 기술동향과 응용", 대한기계학회지, 제31권, 제4호, pp.364-379, 1991
- 3) 影山和郎, 野中勝信, 島村昭治, 福田俊二, "カーボクロス強化複合材料の破壊じん性とAE", 日本機械學會論文集, 第50卷, 第454號, pp.1260-1266, 1984
- 4) 岸輝雄, 志波光晴, "FRP의AEによる評價", 日本複合材料學會誌, 12, 6, pp.241-250, 1986
- 5) 木田外明, 鈴木 恵, 宮下壽徳, 菱川英海, 中西博, "AE法短による纖維強化AS複合材料の破壊機構の解明に関する研究", 日本機械學會, 第71期通常總會講演論文集(II), pp.119-121, 1994
- 6) 鈴木 恵, 伊村 眞, 岩本正治, 自念榮一, 藤原照彦, "AE法による短纖維強化PETの疲勞破壊機

- 構に 關する研究”, 日本機械學會論文集, 第55卷, 第513號, pp.1081-1087, 1989
- 7) 김선진, 이상국, 남기우, 오세규, “탄소섬유강화 복합재료 강도데이터의 통계적 특성에 관한 연구”, 대한기계학회 논문집, 제20권, 제2호, pp.510-519, 1995
 - 8) A.Apicella, C.Migliaresi, L.Nicodemo, L.Niccolais, L.Iacarino, S.Roccotelli, “Water Sorption and Mechanical Properties of a Glass-Reinforced Polyester Resin”, Composites, October, pp.406-410, 1982
 - 9) 음향방출(Acoustic Emission), 탄성파이용기술 연구회, p.2
 - 10) W.G.Reuter, “Detection of Crack Initiation and Propagation Using Acoustic Emission”, The second International Conference on Acoustic Emission
 - 11) 이강용, “음향방출법에 의한 복합재료와 금속 재료의 균열거동해석”, 대한기계학회지, 제32권, 제1호, pp.28-38, 1992
 - 12) 이상국, 오세규, 남기우, 김옥균, “음향방출법에 의한 탄소섬유복합재료의 인장 및 파괴인성 시험시의 파괴거동에 관한 연구”, 비파괴검사 학회지, Vol.15, No1, pp.277-290, 1995
 - 13) “Nondestructive Testing Handbook”, Acoustic Emission Testing, ASNT, Vol.5, pp.561-568.
 - 14) C.H.Shen and G.S.Springer, “Moisture Absorption and Desorption of Composite Materials”, Journal of Composite Materials, Vol.10, pp.2-20, 1975
 - 15) Toshikazu Misaki, Tsuneo Iwatsu, “Effect of Boiling Water Aging on Strength and Fracture Properties of Chopped Strand Mat-Polyester Laminates”, Journal of Applied Polymer Science, Vol.30, pp.1083-1093, 1985
 - 16) G.Pritchard, S.D.Speake, “The Use of Water Absorption Kinetic Data to Predict Laminate Property Changes”, Composites, Vol.18, No3, pp.227-232, 1987
 - 17) K.K.Phani, N.R.Bose, “Hydrothermal Ageing of CSM-Laminate During Water Immersion an Acousto-Ultrasonic Study”, Journal of Materials Science, 21, pp.3633-3637, 1986
 - 18) 오세규, “AE에 의한 비파괴검사와 응용”, 한국박용기계학회지, 제12권, 제4호, 별쇄, pp.195-203, 1988.12
 - 19) A.G.Beattie, “Acoustic Emission Principles and Instrumentation”, Journal of Acoustic Emission, Vol.2, No1/2, 1983
 - 20) 정희돈, “음향방출법의 공학적 이용을 위한 기초”, 대한기계학회지, 제34권, 제1호, pp.20-32, 1994
 - 21) “탄소섬유의 응용기술”, 대한교과서주식회사, pp.206-211, 1987
 - 22) “복합재료 파괴역학”, 원창출판사, pp. 62-76, 1993
 - 23) C.K.Moon, “Composite Structure and Fracture Toughness of Fibrous Composite Materials”, Ph.D.thesis, Tokyo Institute Technology, 1989
 - 24) 小山仁, 若山修一, 川原正言, 八田博志, “積層構造の異なる複合材料の損傷過程におけるAE特性”, 日本機械學會, 第71期通常總會講演會論文集(Ⅱ), pp.771-773, 1994