흡습에 따른 탄소섬유 강화수지의 파괴 거동

김옥균 · 남기우 · 안병현
부경대학교
(1996년 7월 25일 접수)

Fracture Behavior for Carbon Fiber Reinforced Plastic by Immersion

O. G. Kim, K. W. Nam and B. H. Ahn
Pukyong National University
(Received July 25, 1996)

Abstract

Recently carbon fiber reinforced plastic(CFRP) has been used structural materials in corrosive environment such as for water, chemical tank and chemical pipes. However, mechanical properties of such materials may change when CFRP are exposed to corrosive environment for long periods of time. Therefore, it is important to understand the effect of moisture absorption on mechanical properties of the CFRP.

In this study, degradation behavior of immersed carbon fiber/epoxy resin composite material was investigated using acoustic emission(AE) technique.

Fracture toughness test are performed on the compact tension(CT) test specimens that are pilled by two types of laminates $[0^\circ_2/90^\circ_2]_{3s}$ and $[0^\circ/90^\circ]_{6s}$. During the fracture toughness test, AE test was carried out to monitor the damage of CFRP by moisture absorption.

In spite of the change of moisture absorption rate, the fracture toughness of CFRP was not change. As immersion time increased, AE event count numbers decreased in low amplitude range of AE for amplitude distridution histogram. The event in low amplitude range was known to be generated by debonding of matrix – fiber interface. Therefore, decrease of AE event count numbers in low amplitude range represents that debonding of matrix – fiber interface which was probably generated by moisture absorption.

서 론

각종의 섬유강화플라스틱(FRP)은 금속재료에 비하여 뛰어난 특성을 가지고 있어, 다양한 방면의 구조용 재료에 이르기까지 그 사용과 응용의 범위가 확대되어 가고 있다[1]. 그러나, 이러한 추세에 부응하여 제품의 품질관리와 안전성 평가 등을 위한 파괴거동의 해석에 관한 연구가 시급히 요청되고 있고, 결함의 존재와 균열진전에 대한 저항인 파괴인성의 평가가 절실히 요구된다[2-4]. 또, 내식성의 문제에 대해서 금속에 비해 많은 잇점을 가지고 있고, 물과 같은 다습한 환경에서의 부식에 더욱 잘 견딜 수 있어, 수분과 접촉되는 곳에서의 구조 재료로써 사용되기도 한다. 그러나, 이러한 부식환경

하에서 수분의 흡습에 의하여 수지, 섬유 및 섬유와 수지와의 계면열화가 발생하여, FRP의 물성이 저하하게 된다[5]. 따라서, 이러한 변화에 미치는 수분의 영향을 이해하는 것이 아주 중요하고, 습한 환경에서의 FRP의 실용적인 측면에서의 파괴인성의 평가가 필요하다.

한편, 비파괴 검사법의 하나인 Acoustic Emission(이하 AE법)은 1950년대 독일의 Joseph Kaiser로 부터 시작되어 현재 결정의 파괴, 균열의 발생과 진전, 전위의 이동, 상변태 등 재료의 미시적, 동적 파괴기구를 탐지 및 감지하는 유력한 비파괴 기술로 사용되고 있다[6]. 이러한, AE법은 현재 FRP에 대해서도 적용되고 있으며, 이에 의한 FRP의 손상 기구와 관련하여 FRP의 특성을 이해하려는 연구 보고가 있다[7-10].

본 연구에서는 탄소섬유강화플라스틱(CFRP)을 증류수에 침수시켜 침수시간에 대한 파괴인성의 변화를 검토하고, 파괴시의 AE방출 특성을 검토하였다. 그리고, 파단면을 SEM에 의하여 관찰하였다.

복합재료에 있어서의 흡습

1. 흡습률 및 확산계수

복합재료에서 흡습은 수분의 증기압에 의하여 복합재료 표면을 통한 물분자의 이동과 섬유와 수지의 계면 및 수지의 기공 사이로의 모세관 현상에 의한 물분자의 이동 등에 의하여 복합재료의 내부로 확산된다. 이렇게 확산된 수분은 복합재료 내부에서 결함이나 기공의 생성, 기지손상, 섬유의 침식, 섬유－수지의 분리, 섬유표면에서의 화학적 반응 등의 결과를 초래하게 되어, 복합재료의 물성을 저하시키고, 요구되는 특성을 변화시켜 적정 목적을 수행하기에는 불만족스러운 상태가 된다. 이러한 수분의 흡습에 있어서, 복합재료 내부로의 수분의 확산은 온도와 주위의 습도 등에 의하여 좌우된다[11]. 또한, 압력분위기에서의 수분의 흡습은 대기중에서의 수분의 흡습보다 훨씬 빠르게 확산된다는 것도 보고되고 있다. FRP(Fiber reinforced plastics)에서 수분의 흡습과 기계적 특성의 저하는 일반적으로 시간과 온도의 변화에 따라서 함께 변화된다[12-14].

섬유강화복합재료(FRP)가 다습한 분위기에 노출되어 있을 경우, 수분의 흡습률은 식(1)에 의하여 구할 수 있다[11].

$$M=\frac{W_a-W_b}{W_b}\ X\ 100 \qquad (1)$$

M : 수분흡습률(%)
W_b : 흡습전(before)의 시험편 무게(g)
W_a : 흡습후(after)의 시험편 무게(g)

다습한 환경에 오랫동안 복합재료를 놓아두었을 경우, 복합재료중에 침투분자의 확산과정은 고분자의 결정화도, 망목사슬 농도 등의 형태적인 인자와 침투분자와 고분자사슬과의 상호작용인자에 지배된다고 생각된다. 복합재료에 있어서 흡습율의 시간변화와 확산계수D와의 관계는 아래와 같은 식(2)에 의하여 구할 수 있다.

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

여기서 B는 시험편 두께, M_m은 최대수분량, M_1은 t_1시간후의 흡습률, M_2는 t_2시간후의 흡습률을 나타낸다.

그러나, 가장자리 부분의 모서리에 의한 흡습을 고려할 경우, 확산계수는 달라지는데, 이것을 '모서리 효과(edge effects)' 라 한다. 이때의 확산계수는 식(3)과 같다.

* Edge effects 무시 : $D_x=D$ (3)
* Edge effects 유효 :

$$D_x^*=D\left(1+\frac{B}{L}+\frac{B}{W}\right)^{-2}$$

W : 시험편 판폭, L : 시험편 길이

일반적으로, 최대수분량(M_m)은 온도에 둔감하고, 주위의 습도에 의존하며, 액체속에서의 최대수분량(M_m)은 일정하다. 또한, 최대수분량(M_m)에 도달하기까지 요구되는 시간($\sqrt{t_m}$)은 주위의 습도보다는 주위의 온도에 의해 지배된다.

2. 파괴인성 평가

재료의 파괴인성값을 구하기 위한 파괴인성시험은 compact tension(CT)시험과 3점굽힘(three point bending)시험등이 규격화되어 실시되고 있다. 그러나 이러한 규격화된 시험법들은 금속재료를 대상으로 하고 있는 것이지만, 복합재료에 대한 파괴인성 시험법도 금속에 대한 파괴인성 시험규격들을 그대로 사용하고 있는 실정이다[15].

따라서 본 실험에서도 탄소섬유/에폭시 복합재료의 흡습에 대한 파괴인성의 변화를 측정하기 위해 ASTM규격 E399에 따라 파괴인성을 평가하였다. 복합재료의 파괴인성 평가에서는 시험편의 치수, 하중의 부하방법 및 균열길이 등의 영향을 받는 경우가 많다. 파괴인성Kc는 초기 균열을 가공한 시험편의 하중 - 변위선도로부터 구해지는 재료상수로서, 하중 - 변위곡선이 최대하중까지 선형성을 유지하면 최대하중을 이용하여 결정하고 있다.

그러나, Fig. 1과 같은 하중 - 변위곡선을 나타내면, 초기 기울기각(θ)에 대하여 5% offset 선을 그어서 하중 - 변위곡선과 만나는 점을 하중P_s로 하고, 파괴인성K_c를 구할 때는 그림에서 표시하는 하중P_Q를 사용한다. 즉, (a)에서는 $P_Q=P_s$가 되고, (b)에서는 P_s에 이르기 전의 최대하중P_Q를 사용한다.

본 연구에서도 파괴인성의 평가는 아래와 같은 식(4)에 의하여 평가하였으며, 하중P_Q를 식(4)에 대입하여 파괴인성K_c를 구하였다.

$$K_I=\frac{P\sqrt{W}}{B}F(\xi) \qquad (4)$$

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

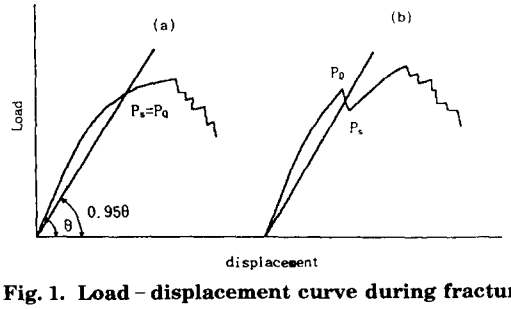


Fig. 1. Load - displacement curve during fracture toughness test

여기서, P는 하중, B는 판두께, W는 시험편의 폭, ξ=a/W, a는 균열길이, F(ξ)는 시험편 형상 및 부하 방식에 따른 보정계수이다.

시험편 및 실험방법

본 연구에 사용된 실험재료는 탄소섬유/에폭시 수지의 프리프레그(CU 100NS)를 적층 성형하여 사용하였다. 시험편은 $[0°/90°]_{6s}$와 $[0°_2/90°_2]_{3s}$와 같이 서로 다른 적층형식으로 24ply을 사용하여 적층 성형하였고, 각각의 섬유중량비는 63.2wt%와 64.1wt%이다. 적층성형시의 성형온도 사이클(curing cycle)은 Fig. 2와 같고, 상온에서 공냉하였다.

흡습에 의한 파괴인성값을 측정하기 위하여 사용된 CT시험편의 형상은 Fig. 3과 같고, 시험편 중앙부는 두께 2mm의 다이아몬드 휠을 사용하여 절단한 후, 예비 crack부분을 두께 0.2mm의 예리한 휠을 사용하여 제작하였다. 파괴인성 실험을 위한 CT시험편의 인장실험에 사용한 시험기는 최대하중 5ton의 Instron사(model 4204)의 만능시험기(UTM)을 이용하였고, cross head speed는 0.5mm/min으로 일정하게 유지하여 인장실험을 하였다.

AE의 발생을 계측 평가하기 위하여 사용된 AE 시험장치는 PAC社의 Acoustic Emission Testing System(Model LOCAN 320)을 사용하였다. CT 시험편을 인장할 때, 복합재의 내부에서 발생하는 방출 AE신호를 측정하기 위하여 고감도 AE sensor(R15, 150kHz sensor)를 Fig. 3에서와 같이 시험편의 두 곳(#1, #2)에 부착하여 신호를 계측하였다. 각각의 센서에서 발생되는 신호를 민감하게 수집하기 위하여 접촉매질(Acoustic couplant)을

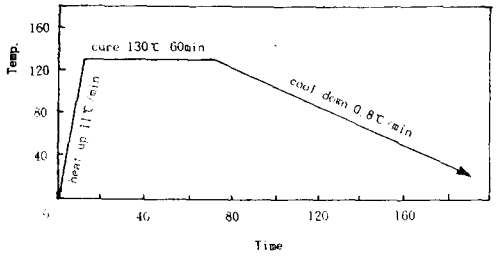


Fig. 2. Curing temperature cycle of CFRP specimen

사용하여 센서의 시험편 접촉면에 바른 후, 압착 테이프와 자체 제작한 클램프로 고정하였다. 센서로 부터 검출된 AE신호는 100kHz~300kHz범위의 band-pass filter를 거쳐, pre-amp에서는 40dB, main-amp에서는 30dB로, 증폭하였고, 한계전압은 0.2V(65dB : Gain+Threshold)가 되도록 설정하였다.

결과 및 고찰

1. 흡습량에 따른 파괴인성

CFRP복합재료에서 흡습량의 증가에 따른 파괴인성을 평가하기 위하여 CFRP prepreg를 적층성형한 적층판을 증류수에 침수시켰다. $[0°/90°]_{6s}$와 $[0°_2/90°_2]_{3s}$와 같이 적층 방법을 달리한 두 종류의 적층판에 있어서, 시간의 변화에 따른 흡습 특성을 고찰하였고, 흡습률 증가에 따른 파괴인성을 평가하였다. 탄소섬유복합재료의 흡습실험에 있어서 수분이외의 다른 요소의 영향을 적게하기 위하여 증류수를 사용하였고, 시험편이 충분히 물과 접촉하도록 하였다. 시험편의 수분흡습률은 앞에서 설명한 식(1)에 의하여 구하였다. $[0°/90°]_{6s}$와 $[0°_2/90°_2]_{3s}$의 두 종류로 적층 성형한 적층판을 Fig. 3와 같은 CT시험편으로 만들어서, Table 1과 같은

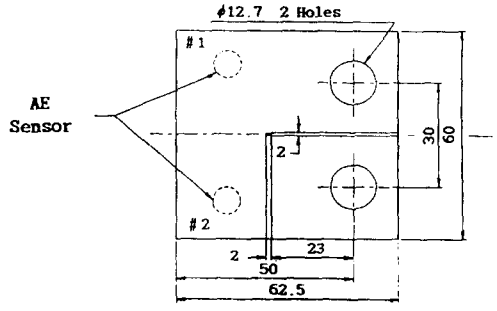


Fig. 3. Dimension of secimen(CT) ; all dimension inmm

Table 1. Immersion condition at $[0°/90°]_{6s}$ and $[0°_2/90°_2]_{3s}$

Spacemen	Immersion Time[day]						
$[0/90]_{6s}$	0	7	15	30	60	90	120
$[0_2/90_2]_{3s}$							

침수조건에 따라 각각 10개씩 120개(단, 120일의 경우는 각각 4개씩 사용하였다.)를 사용하였다. 증류수에 침수시키기 전에 실험에 사용되는 모든 시험편을 정밀 전자저울로 무게를 측정하고, 각 실험조건에 따라 시험편을 꺼내어 실온상태에서 표면의 물끼를 제거한 후, 수분의 흡습에 의한 시험편의 무게 변화를 다시 전자저울을 사용하여 측정하였다.

Fig. 4는 $[0°/90°]_{6s}$와 $[0°_2/90°_2]_{3s}$ 두 종류의 적층판에 있어서의 시간의 변화에 따른 흡습량의 관계를 나타내었다. 시간의 경과에 따른 흡습량의 증가는 완만한 곡선으로, 두 적층판에 있어서 서서히 증가하고 대략 120일 경에 포화 흡습률에 도달한 것으로 하였다. 그러나 엄밀히 말하자면 이 부분은 더욱 검토하여야 할 점이라고 생각된다. 이때의 흡습량은 $[0°/90°]_{6s}$와 $[0°_2/90°_2]_{3s}$에 대하여 각각 0.732%와 0.838%이다.

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

흡습 초기에는 두 종류의 적층판 모두에서 비슷한 흡습률을 나타내고 있으나, 시간이 경과함에 따

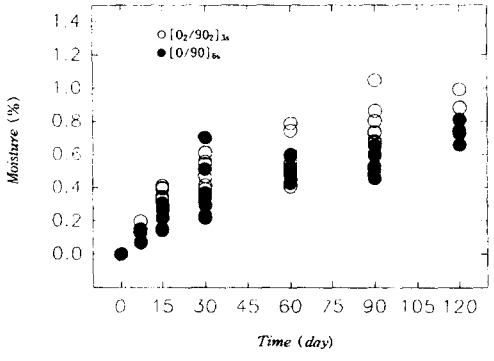


Fig. 4. Moisture contents according to change to time

Table 2. Diffusion coefficient(D_x) of test specimen at distilled water
(D_x* : diffusion coefficient at edge effect)

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

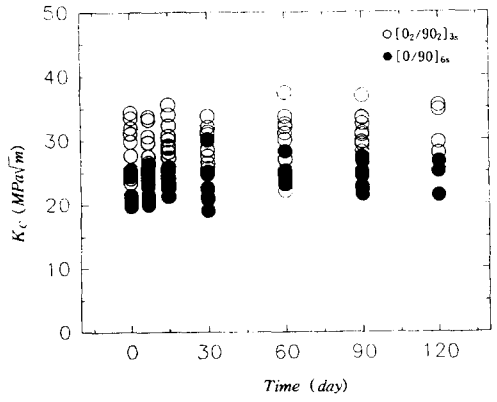


Fig. 5. Fracture toughness according to change to time

라 $[0°/90°]_{6s}$와 $[0°_2/90°_2]_{3s}$의 두 적층판에서 흡습률의 차이가 나타나는데, 이러한 적층형식과 관련된 흡습의 영향은 차후 더욱 연구되어져야 할 점으로 생각된다.

두 종류의 적층판에 있어서 흡습시간의 변화에 따른 파괴인성과의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 이 때의 파괴인성은 식(4)에 의하여 구하였다. 그림에서 흡습시간에 대하여 파괴인성은 분산을 보이고 있지만, 그다지 영향을 받지 않고 거의 같은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이것은 파괴인성 시험시 시험편에 하중이 부하되면, 균열선단부 상태는 침적시간에 그다지 의존하지 않는 것을 의미한다. 즉 본 실험에 사용된 CFRP의 수지인 에폭시는 탄소섬유를 서로 접촉시켜 주는 역할만 하므로 하중이 부하되면 균열선단부 근처의 수지 결합에너지는 저하하지만, 부하하중을 받는 것은 주로 탄소섬유이기 때문에 파괴인성의 변화가 거의 없다고 생각된다. 따라서 본 연구에서 사용한 에폭시 수지를 기지재로 사용한 복합재료 적층판의 경우에는 파괴인성의 측면에서 볼 때, 구조물의 사용환경을 그다지 고려하지 않아도 좋다고 생각된다.

CFRP적층판의 경우 흡수량의 증가에 대하여 파괴인성은 $[0°/90°]_{6s}$의 경우에서는 20~25MPa$\sqrt{m}$, $[0°_2/90°_2]_{3s}$의 경우에서는 25~35MPa$\sqrt{m}$로서 파괴인성은 흡습량에는 의존하고 있지 않음을 알 수 있다. $[0°_2/90°°_2]_{3s}$적층판의 경우가 $[0°/90°]_{6s}$적층판 보다 다소 높은 파괴인성값을 가지는 것은 단위층을 2층씩 적층시킨 것이 1층씩 적층시킨 것보다 층간박리가 용이하기 때문에 응력집중이 감소되어 파괴인성은 증가하는 것으로 생각된다[15].

FRP에 있어서 정적강도는 흡습량의 증가에 따라 물성의 저하를 보이고 있다는 것이 여러 문헌에 의해서 지적되고 있으나, 흡습량의 증가에 따른 파괴인성에 대해서는 그다지 물성의 변화를 보이지 않는다는 연구결과와[12] 본 연구가 동일한 결과를 나타내고 있다. 그러나 이러한 경향은 모재로 사용하는 고분자 재료에 따라서 많은 영향을 받으리라 생각된다.

2. AE발생과 특성

1) 파괴인성 시험시의 AE의 발생

흡습시간의 변화에 따른 CFRP복합재료에서의 파괴인성 시험시의 AE를 계측하여 AE특성을 조사하였다. Fig. 6에서는 $[0°/90°]_{6s}$적층 CT시편의 파괴인성 시험시의 하중 - 변위곡선과 AE count의 시간적 변화를 나타낸 대표적인 그림이다.

(a)는 증류수에 침수시키지 않은 시험편(T=0 day)의 경우이고, (b)는 60일 동안 침수시킨 시험편(T=60 day)의 경우이다.

(a), (b)의 양쪽의 경우에서 하중은 하중변위의 증가와 함께 선형적인 비례를 가지고 증가하다가 어느 정도의 변위가 발생하면, 비례관계를 이탈하게 되고, 최대하중점에서 급격한 하중저하가 발생하여 파괴에 이르고 있다. AE event count는 하중증가와 함께 수지균열의 발생에 따라 컴플라이언스에 변화가 발생하는 점(그림 중의 점선)이전부터 발생이 보인다. 이것은 하중이 부하됨에 따라서 수지에 균열이 발생하고 하중이 더 부하되면 층간박리가 일어남에 따라서 발생되는 AE라고 보고되고 있다. 그 후 직선에서 벗어나면서 섬유에 파단이 발생하기 시작하고, AE event에 큰 peak가 발생하고 최종파단에 이르고 있다.

Fig. 7에서는 $[0°_2/90°_2]_{3s}$적층 CT시험편의 파괴인성 시험시의 하중 - 변위곡선과 AE - count의 시간적 변화를 나타낸 그림이다. (a)는 침수시키지 않은 시험편(T=0 day)의 경우이고, (b)는 60일 동안 침수시킨 시험편(T=60 day)의 경우이다. $[0°_2/90°_2]_{3s}$의 경우에서도 $[0°/90°]_{6s}$의 경우와 유사한

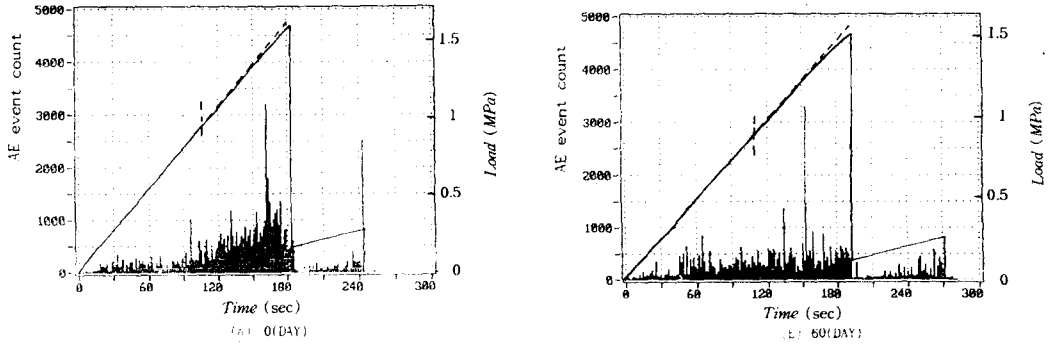


Fig. 6. AE event counts and load vs. time curve for $[0/90]_{6s}$ specimens during fracture toughness test

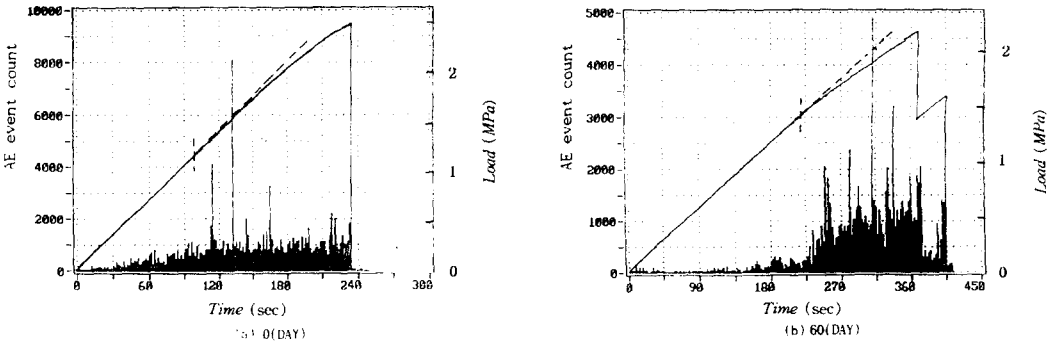


Fig. 7. AE event counts and load vs. time curve for $[0_2/90_2]_{3s}$ specimens during fracture toughness test

하중 - 변위곡선를 가지고, 또한 하중 증가와 함께 유사한 AE event count의 발생 거동을 보이고 있다.

2) 흡습률의 변화에 따른 AE특성

Fig. 8에서는 $[0^\circ_2/90^\circ_2]_{3s}$적층판의 침수시간이 각각 0, 7, 15, 30, 60, 90일인 6종류의 시험편에 대한 AE event count와 AE 진폭분포의 히스토그램이다. 이 그림에서 침수시간이 다른 6종류 모두 약 35 - 52dB사이의 낮은 진폭영역에서 많은 AE event의 발생을 보이고, 그 이후부터 파단시까지 약 53 - 80dB에서 침수시간에 관계없이 거의 일정한 AE event의 발생을 보이고 있다. 더우기 침수시간이 증가함에 따라서 낮은 진폭영역의 AE event count가 감소함을 보이고 있는데, 이러한 것은 30일까지 AE event의 감소를 보이고 있고, 그 후는 비슷한 AE event count의 분포를 보이고 있다. 이러한 AE 진폭의 낮은 영역(약 35 - 52dB)에서의 AE event의 발생은 수지균열 또는 박리에 대응되는 부분이다[5,16]. 따라서 낮은 진폭영역의 AE event count수는 증류수의 흡습으로 인한 침식으로 인하여 수지균열 또는 박리가 발생하여, 파괴인성 시험시에 AE event의 발생이 감소된 것으로 생각된다. 그러나 높은 진폭영역인 약 53 - 80dB에서는 일정한 AE발생을 보이는 것은 섬유의 파단에 의한 것이라고 생각한다.

Fig. 9에서는 Fig. 8에서 수지균열과 층간박리가 발생하는 낮은 영역의 진폭 약 35 - 52dB사이에서 발생하는 AE event count, 섬유의 파단에서 발생하는 높은 영역의 진폭 약 53 - 80dB에서 발생하는 AE event count와 전AE evet count와의 백분율을 증류수에 침수시킨 시간과의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 두 적층판은 침수시간이 증가함에 따라서, 수지균열 또는 박리가 발생하는 낮은 영역의 진폭에 대한 백분율은 약간 저하하고 있음을 알 수 있다. 그와 반대로 섬유파단이 일어나는 높은 영역의 진폭에 대한 백분율은 약간 상승함을 보이고 있다. 이러한 경향은 침수시간의 증가

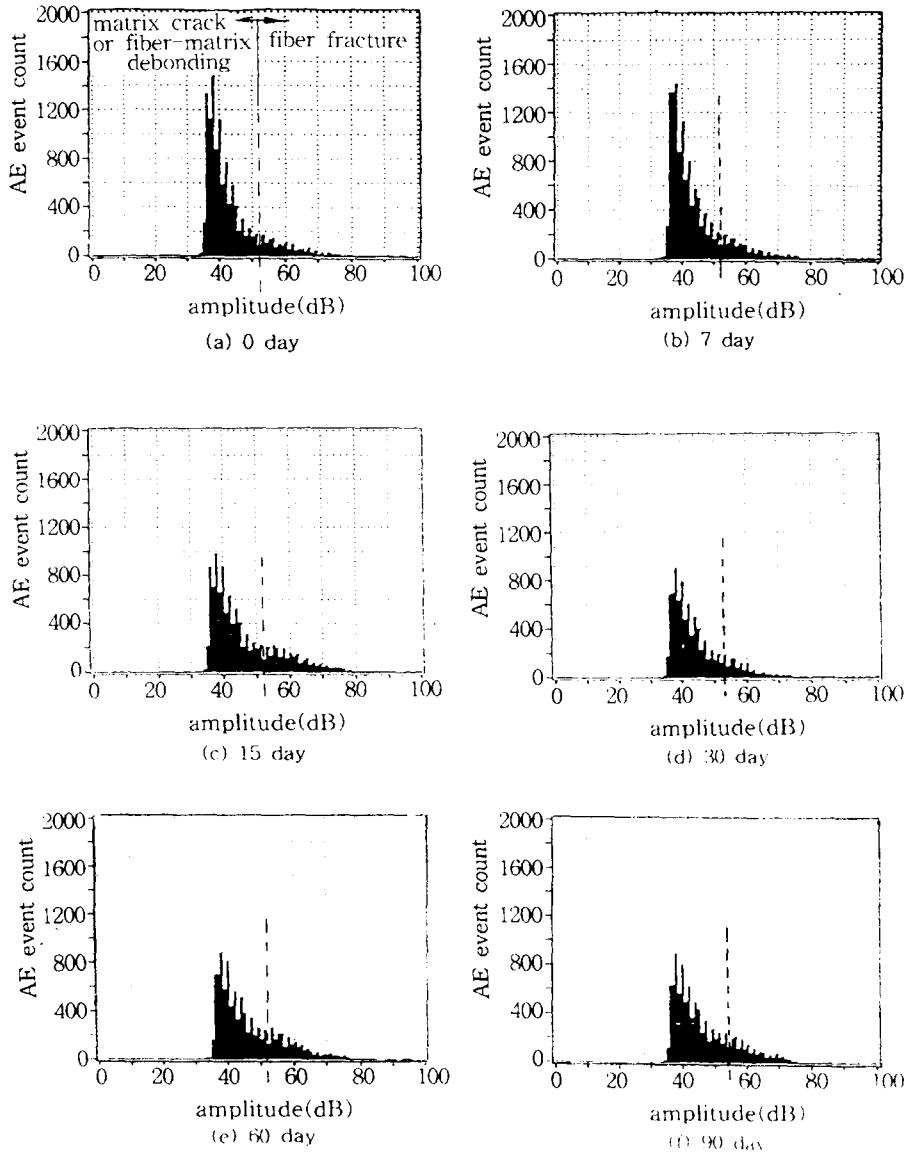


Fig. 8. AE amplitude distribution histograms of $[0_2/90_2]_{3s}$ specimens

에 따라서 계면에 수분이 침투하여 인장시 박리가 발생하여 파괴에 따른 낮은 영역의 AE발생이 감소하고, 상대적으로 섬유가 파단되는 높은 영역의 AE발생은 일정한 것이 검출됨을 의미한다. 따라서 Fig. 5에 나타낸 파괴인성 평가에 있어서 침수시간에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내고 있는 것은 섬유가 부하하중을 주로 받고 있음을 의미한다.

3) 파면관찰

적층형식을 다르게 한 탄소섬유복합재료를 수분환경하에서 흡습의 시간을 변화시켜 흡습량을 증가시킨 CT적층판의 파괴인성시험을 실시하여, 각 흡습시간에 따른 파단된 시험편의 파단면을 주사형 전자현미경(SEM)으로 관찰한 사진을 Fig. 10에 나타낸다. Fig. 10은 $[0^\circ_2/90^\circ_2]_{3s}$ 시험편의

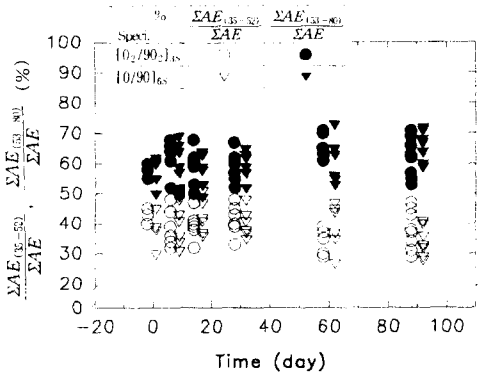


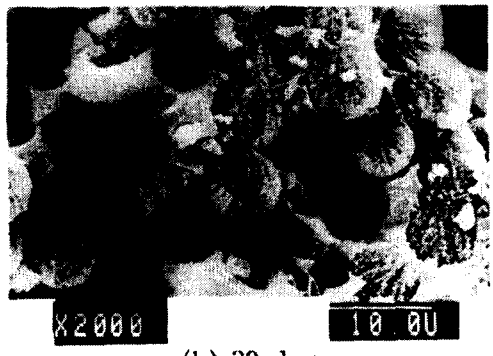
Fig. 9. Relation of moisture time and ratio of AE

경우로서 0일, 30일, 90일 침수시킨 경우이다.

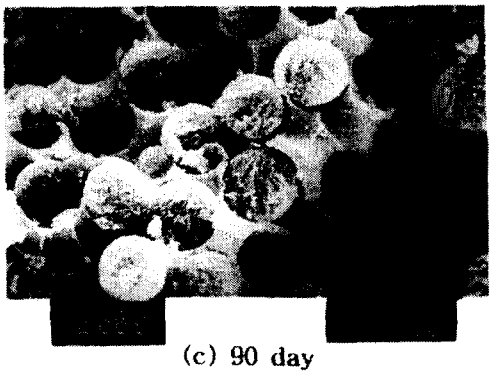
이 그림에서 (a)는 증류수에 침수시키지 않은 시험편의 경우(0 day)로, 파괴인성 시험후의 파단면의 형상을 보여주고 있다. 이 그림에서 파단면은 하중방향에 수직하게 파단되어 있으며, pull-out된 섬유의 흔적 및 파단으로 인한 수지균열은 발견되지만, 수지가 섬유 계면에서 박리된 흔적은 거의 찾아 볼 수 없다. 따라서 이와같은 경우 파괴시 수지 균열 및 박리의 발생으로 인한 낮은 영역에서의 AE가 많이 검출되고 있다.

그림(b), (c)는 침수시간이 30일 및 90일의 경우로 (a)의 경우와 같이 파단면은 하중방향에 수직하게 파단되어 있으나, 파단으로 인한 수지의 균열 및 섬유와의 계면에 박리가 발생한 것을 많이 관찰할 수 있다. 이러한 것은 섬유와 수지의 계면열화에서 기인한다고 생각된다. 또 계면열화는 표면에서 침투한 수분이 수지와 섬유의 계면에 작용하여 접착력을 저하시켜서 수지와 섬유의 박리를 일으킨 것으로 생각된다. 더우기 섬유를 따라서 발생한 계면 틈새에 수분이 모세관 현상으로 침투하여 침투압으로 계면파괴가 촉진된다. 전체적으로 다습한 환경에서 흡습되는 시간이 길어질수록 pull-out된 섬유의 측면들이 더욱 들쑥날쑥하고 거칠어져 있는 것을 볼 수 있었다. 또한, 섬유와 수지계면은 흡습시간의 증가와 함께 박리가 더 많이 일어나 있는 것을 알 수 있었다. 따라서, 침수시간이 길어짐에 따라 수분의 침투에 의하여 섬유와 수지계면의 접착 강도가 저하되어 수지균열 또는 층간 박리에 의하여 발생하는 낮은 진폭영역의 AE event count가 저하한다고 생각된다.

(a) 0 day



(b) 30 day



(c) 90 day

Fig. 10. Photograph of fracture surface for $[0_2/90_2]_{3s}$ specimens

결 론

다습한 환경하에서 수분의 흡습에 의한 탄소섬유복합재료의 물성 변화를 관찰하기 위하여, $[0°/90°]_{6s}$와 $[0°_2/90°_2]_{3s}$와 같이 적층방법을 달리한

탄소섬유 복합재료를 증류수에 침수시켜, 그 흡습시간의 변화에 따른 파괴인성을 관찰하였다. 그리고 파괴인성 시험동안 AE시스템을 사용, 음향방출법을 통해서 흡습에 의한 손상을 AE event count와 관련하여 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. $[0°_2/90°_2]_{3s}$의 적층판이 $[0°/90°]_{6s}$의 적층판보다 더 많은 흡습률을 보였다.

2. CFRP에 있어서 수지는 섬유의 접착만을 유지시켜 주고, 섬유가 응력을 주로 받으므로 증류수에 침수시킨 탄소섬유복합재료의 파괴인성은 흡습률의 변화에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 사용한 재료의 경우, 파괴인성의 측면에서 사용환경의 영향은 고려하지 않아도 좋으리라 생각한다.

3. 각 적층판에서 흡습량이 증가할수록 수지균열 또는 계면박리가 발생하는 낮은 진폭영역(약 35 - 52dB)의 AE event수의 백분율은 감소하지만, 섬유가 파단되는 높은 진폭영역(약 53 - 80dB)의 AE event수의 백분율은 약간 증가하였다. 이것은 파괴인성값과 좋은 대조를 보이고 있다.

4. 흡습된 시험편의 파단면을 SEM에 의하여 관찰한 결과, 미침수재의 경우는 파단으로 인한 수지의 균열은 발견되지만, 섬유와의 계면박리는 거의 볼 수 없었다. 반면, 침수시간이 길어 질수록 섬유와의 계면박리가 많이 발생하였고, 간격도 넓게 나타났다. 이러한 현상은 AE발생에서 저진폭영역이 감소하고 있는 것과 좋은 일치를 보이고 있다.

참고문헌

1) 홍창선(1994) : 복합재료 응용기술 및 현황. 대한기계학회지 34(5), 364 - 379.

2) 影山和郎, 野中勝信, 島村昭治, 福田俊二(1984) : カ－ボンクロス 强化複合材料の破壞じん性とAE. 日本機械學會論文集 50(454), 1260 - 1266.

3) 岸輝雄, 志波光晴(1986) : FRPのAEによる評價. 日本複合材料學會誌 12(6), 241 - 250.

4) 鈴木惠, 伊村眞, 岩本正治, 自念榮一, 藤原照彦(1989) : AE法による短纖維强化PETの疲勞破壞機構に關する研究. 日本機械學會論文集 55(513), 1081 - 1087.

5) A. Apicella, C. Migliaresi, L. Nicodemo, L. Nicco-lais, L. Iacarino, S. Roccotelli(1982) : Water Sorption and Mechanical Properties of a Glass - Reinforced Polyester Resin. Composites, October, 406 - 410.

6) Nondestructive Testing Handbook. Vol. 5 Acoustic Emission Testing, ASNT, 561 - 568.

7) W. G. Reuter : Detection of Crack Initiation and Propagation Using Acoustic Emission. The second International Conference on Acoustic Emission.

8) 이강용(1992) : 음향방출법에 의한 복합재료와 금속재료의 균열거동해석. 대한기계학회지 32(1), 28 - 38.

9) 이상국, 오세규, 남기우, 김옥균(1995), : 음향방출법에 의한 탄소섬유복합재료의 인장 및 파괴인성시험시의 파괴거동에 관한 연구. 비파괴검사학회지 15(1), 277 - 290.

10) 이상국, 김옥균, 남기우, 오세규(1995) : 탄소섬유복합재료의 적층방법에 따른 파괴인성과 AE거동. 한국복합재료학회지 8(4), 83 - 91.

11) C. H. Shen and G. S. Springer(1975) : Moisture Absorption and Desorption of Composite Materials. Journal of Composite Materials 10, 2 - 20.

12) Toshikazu Misaki, Tsuneo Iwatsu(1985) : Effect of Boiling Water Aging on Strength and Fracture Properties of Chopped Strand Mat - Polyester Laminates. Journal of Applied Polymer Science 30, 1083 - 1093.

13) G. Pritchard, S. D. Speake(1987) : The Use of Water Absorption Kinetic Data to Predict Laminate Property Changes. Composites 18(3), 227 - 232.

14) K. K. Phani, N. R. Bose(1986) : Hydrothermal Ageing of CSM - Laminate During Water Immersion an Acousto - Ultrasonic Study. Journal of Materials Science 21, 3633 - 3637.

15) C. K. Moon(1989) : Composite Structure and Fracture Toughness of Fibrous Composite Materials. Ph. D. thesis,Tokyo Institute Technology.

16) 小山 仁, 若山修一, 川原正言, 八田博志(1994) : 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期通常總會講演會講演論文集(Ⅱ), 771 - 773.