

Graphite/Epoxy 복합재료 판재의 강도거동

(Residual Strength Behavior of Carbon/Epoxy Composite Laminates)

생산기술연구원 양 세 훈

I. 서 론

복합재료에서 시간에 따른 강도변화는 금속에서의 경우와 매우 다른 현상을 나타낸다. 그 이유는 복합재료에서는 **Failure Mechanism** 이 금속과는 판이하게 **Fiber breakage, Debonding, Delamination, Matrix cracking** 등이 존재하기 때문이다. 이러한 현상들은 복합적으로 일어나기 때문에 **Micro-Mechanical** 한 **Mechanism** 을 다 포함시켜 **Macro-Mechanical** 한 강도변화를 나타낼 수 있는 모델을 유도하기는 현실적으로 매우 어렵다.

Macro 한 강도거동에만 역점을 둔 본 연구에서는, 첫째 시간에 따른 강도(**Strength**) 변화를 나타내는 모델을 유도하였고, 둘째 같은 방법으로 탄성도(**Stiffness**)변화를 나타내는 모델을 유도하였으며, 셋째 **Stress-Strain** 관계식이 **Strain failure criterion** 을 적용하였고, 넷째 궁극적인 목적인 시간에 따른 강도를 탄성도를 측정함으로써 구할 수 있는 공식을 유도하였다.

유도된 공식은 간단 명료하며 강도와 탄성도 이외의 어떤 상수도 포함되어 있지 않기 때문에 활용하기에 매우 간편하다. 제삼자의 실험데이터로도 유도된 공식이 매우 정확함을 보여 주었다.

II. 문 문

◎ Strength

$$\text{Let } T(t) \frac{dR(t)}{dt} = C \quad (1)$$

$R(t)$: Residual strength at time t , $T(t)$: Loading function,
 C : Material constant

integrating EQU(1), to find out $R(t)$ at known time t

$$\int_0^t dR(t) = C \int_0^t \frac{dt}{T(t)} \quad (2)$$

In case of constant amplitude load one can assume

$$T(t) = C_0 + C_1 t \quad (3)$$

and for simplicity let $C = 1$ and $C_1 = 1$

Then one obtains,

$$R(t) = R(0) + C \ln(t+1) \quad (4)$$

◎ Stiffness

Same analysis can be applied to residual stiffness and one could obtain

$$E(t) = E(0) + D \ln(t+1) \quad (5)$$

where $E(0)$ = stiffness at time $t=0$
 D = material constant

◎ Stress-strain relationship

$$\sigma = \begin{cases} E \epsilon & : \text{elastic material} \\ K \epsilon^n & : \text{strain hardening material} \end{cases} \quad (6)$$

Using strain failure criterion that material will fail at its maximum sustainable strain $\epsilon(\max)$ is identical with single tensile load or single fatigue load

$$\begin{aligned} \sigma_{s.t.} &= E(0) \epsilon_{\max}^t & : \text{(static)} \\ \sigma_a &= E(T) \epsilon_{\max}^f & : \text{(fatigue)} \end{aligned} \quad (7)$$

when T means time at failure and T_a is applied stress.

Then from EQU.(7) (8)

$$\left[\frac{\sigma_{u+s}}{E(o)} \right]^{1/g} = \left[\frac{\sigma_a}{E(T)} \right]^{1/g}$$

In case of elastic material $l = g = 1$ and

$$\frac{\sigma_{u+s}}{E(o)} = \frac{\sigma_a}{E(T)}$$

namely,

$\frac{R(o)}{E(o)} = \frac{R(t)}{E(t)}$	(9)
---	-----

because strength at $t = o$, $R(o)$, means ultimate strength, T uts, and specimen will fail when its residual strength at failure, $R(T)$, is equal to its applied stress.

⊙ Strength-Stiffness relationship

Rewriting EQU. (6) and (5)

$$\begin{aligned} -C \ln(t+1) &= R(o) - R(t) \\ -D \ln(t+1) &= E(o) - E(t) \end{aligned} \tag{10}$$

then

$$\frac{C}{D} = \frac{R(o) - R(t)}{E(o) - E(t)} \tag{11}$$

Using boundary condition, i.e, at $t = T$

$$\frac{C}{D} = \frac{R(o) - R(T)}{E(o) - E(T)} \tag{12}$$

Rewriting EQU.(9) in the form of

$$\frac{R(o)}{E(o)} = \frac{R(T)}{E(T)} \tag{13}$$

from EQU. (11), (12) and (13)

one could obtain

$R(t) = E(t) \frac{R(o)}{E(o)}$	(14)
---------------------------------	------

◎ Verification

validity of equation (14) were examined using experimental data.

Specimen	E(o) (Ksi)	E(t) (Ksi)	R(t) from equ.(14)	R(t) measured
A1-48	850	797	13.33	13.12
A1-39	840	825	13.97	13.44
A3-57	839	802	13.60	13.49
A3-42	850	780	13.05	13.63
A2-27	875	829	13.48	13.65
A1-15	800	780	13.87	13.71
A2-47	850	800	13.39	13.99
A2-35	840	810	13.72	14.01
A2-54	849	800	13.40	14.05
A3-17	875	850	13.82	14.22
A3- 5	860	848	14.03	14.23
A2-21	875	775	12.60	14.27

specimen : G/E[± 45]₂₅
R(o)avc : 14.226 Ksi

Ⅲ. 결 론

복합재료의 시간에 따른 강도변화를 탄성계수변화만을 측정하여 얻을 수 있는 공식으로 유도하였다. 일반적으로 강도는 재료를 파괴하여야만 얻을 수 있는 물성치로 인식되고 있지만 본 연구에서는 비파괴 물성치인 탄성도만으로 강도변화를 예측할 수 있게 하였다. 유도된 공식은 간단하면서도 증명에서 나타난 바와 같이 계산에 의해 얻어진 강도값과 실제 실험에 의해 측정된 값은 서로 수 퍼센트내로 매우 근사하며, 많아야 10퍼센트 정도였다.

Ⅳ. 참고문헌

1. Yang, J. N., "Fatigue and Residual Strength Degradation for Graphite/Epoxy Composites under Tension-Compression Cyclic Loading," Journal of Composite Materials, Vol. 12, January 1978, pp. 19-39
2. Salkind, M.J., "Fatigue of Composites", Composite Materials: Testing and Design (Second Conference), ASTM STP 497, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1972, pp. 143-169
3. Salkind, M.J., " Early Detection of Fatigue Damage in Composite Materials," AIAA/ASME/SAE 16th Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Denver, Colorado, May 27-29, 1975, pp.1-8
4. Yang S.H., Stiffness Degradation of Composite Laminates. D. Sc Dissertation. The George Washington University, 1987