

염수침수환경에 노출된 섬유강화 복합재의 장시간 강도 예측

Long-term Strength of Fiber Reinforced Composites Exposed to Salt-water Immersed Environments

*황영은¹, #윤성호²

*Y. E. Hwang¹, #S. H. Yoon(shyoon@kumoh.ac.kr)²

¹금오공과대학교 기계공학과 대학원, ²금오공과대학교 기계공학과, #교신저자

Key words : Salt-water immersed environments, carbon fiber/epoxy composites, long-term strength

1. 서론

섬유강화 복합재는 기존의 금속재보다 비강성과 비강도가 높을 뿐 아니라 내부식성이 우수하여 해양산업 분야에 널리 적용되고 있는 추세이다. 해양환경인자에 장기간 노출시킨 복합재의 경우 수분과 염분 등으로 인해 복합재의 특성이 저하되고, 이로 인해 복합재에 조기 파손이 발생할 우려가 있기 때문에 복합재의 신뢰성 확보를 위해서 환경인자에 노출된 복합재의 내구성 평가 및 장기 성능 예측에 대한 연구는 필수적으로 수행되어야 한다. 본 연구에서는 섬유강화 복합재에 대해 염수침수 환경시험을 수행하고 시간-온도 중첩법을 이용하여 복합재의 장시간 강도를 예측하고자 한다.

2. 시편 제작 및 시험 방법

2.1 시편 제작

본 연구에서 고려한 섬유강화 복합재는 강화제인 탄소섬유와 기지재인 에폭시로 구성된 반경화상태의 프리프레그가 적용되었다. 복합재를 성형하기 위해 오토클레이브가 사용되었고, 성형온도 125℃에서 압력 270kPa로 180분 유지하는 경화조건을 적용하였다. 성형한 적층판으로부터 다이아몬드 휠을 이용하여 복합재 시편을 제작하였다.

2.2 염수침수환경 시험

복합재 시편의 염수침수환경시험은 온도조절이 가능한 챔버를 사용하여 수행하였고 챔버 내부에 위치한 수조를 이용하여 복합재 시편을 염수용액에 완전 침수시켰다. 이때 염수용액은 5% NaCl이며 염화나트륨 순도 99.9%의 정제염과 증류수를 혼합하여 제조하였다. 염수침수환경에 적용된 분위기 온도는 35℃, 55℃, 75℃로서 각 노출온도에 대해 노출시간을 0개월, 1개월, 2개월, 4개월, 6

월, 8개월, 12개월을 고려하였다.

2.3 층간전단강도 시험

염수침수환경에 노출된 복합재의 설정된 노출온도와 노출시간에 따라 층간전단강도 시험을 수행하였다. 이때 시험은 ASTM D2344에 근거하였으며 시편의 스펠 길이가 24mm인 상태에서 1.0mm/min의 조건으로 굽힘 하중을 가하였다. 층간전단강도는 식(1)에 의해 평가하였다.

$$S = 0.75 \times \frac{P_m}{bh} \quad (1)$$

여기에서 P_m 는 파단이 발생할 때의 최대하중, b 는 시편의 폭이며, h 는 시편의 두께를 나타낸다.

2.4 장시간 강도 예측

복합재의 장시간 층간전단강도를 예측하기 위해 시간-온도 중첩법을 사용하였다. 섬유강화 복합재와 같은 고분자 재료의 물성은 온도와 시간의 함수로 표현되기 때문에 여러 온도에서의 시간-특성 데이터를 이용하여 시간-온도 중첩의 원리에 의해 마스터 선도를 구하면 특정 온도에서 매우 넓은 범위의 시간 동안 그 특성을 예측할 수 있다 [1]. 이때 시간과 온도의 함수를 환산하기 위하여 이동인자(a)를 적용하는데 본 연구에서는 식(2)의 아레니우스 모델을 사용하였다[2].

$$\log a_t = \log A + \frac{E}{R(T - T_0)} \quad (2)$$

여기에서 A 와 E 는 Regression에 따른 상수로서 E 는 활성화에너지(J/mol), R 는 일반가스정수

(8.314J/mol · K), T는 시험온도, T₀는 기준 온도를 나타낸다.

3. 시험 결과

Fig. 1은 노출온도와 노출시간에 따른 탄소섬유/에폭시 복합재의 층간전단강도를 나타내었다. 초기 노출시간에서는 고온환경일수록 층간전단강도의 감소 정도가 매우 큰 폭으로 나타남을 알 수 있다. 노출온도가 35℃인 경우 층간전단강도는 12개월 노출이 되면 노출 전에 비해 82% 정도 감소하고 노출온도 55℃인 경우 24.0%, 노출온도 75℃의 경우 382% 정도 감소를 나타내어 노출온도가 증가할수록 감소 정도가 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 2에는 식 (2)의 상수값을 얻기 위한 추세선을 나타내었다. 이때 이동인자 값은 각 노출온도에서의 층간전단강도가 서로 중첩되는 노출시간을 기준으로 결정되었다. 여기서 보면 각 노출온도에 따른 이동인자 값이 선형적으로 나타남을 알 수 있다. 유도된 선형식의 기울기로부터 활성화에너지 E는 32.8 kJ/mol로 계산되었다. Fig. 3에는 노출온도 25℃인 환경을 기준으로 예측한 노출시간에 따른 층간전단강도의 마스터 선도를 나타내었다. 이때 기준온도가 25℃인 경우 이동인자 값은 식 (2)에 의해 -0.4288로 계산되었다. 마스터 선도를 통해 25℃의 침수환경에서 80년 정도의 층간전단강도를 예측하였으며 다양한 고온환경에서 12개월 동안의 시험을 기준으로 가속화 계수가 80임을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 탄소섬유/에폭시 복합재에 대해 다양한 고온환경에서의 염수침수시험을 수행하여 노출시간에 따른 층간전단강도의 변화를 조사하였다. 또한 획득한 자료를 통해 시간-온도 중첩법을 이용하여 상온 염수침수환경에서 노출시간에 따른 층간전단강도를 예측하였다.

후기

본 연구는 국방과학연구소 핵심기술 연구개발 과제 (과제명 : 내고온 경량 복합재연소관 기술)의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

1. Scott, D. W., Lai, J. S. and Zureick, A. H., "Creep

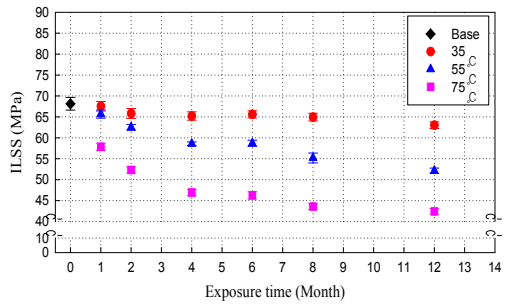


Fig. 1 Variation of ILSS for carbon/epoxy composites along with exposure time and temperature.

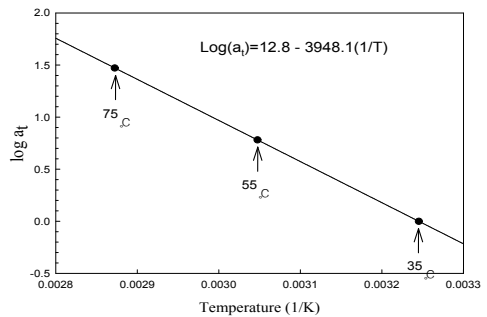


Fig. 2 Shift factors along with exposure temperature.

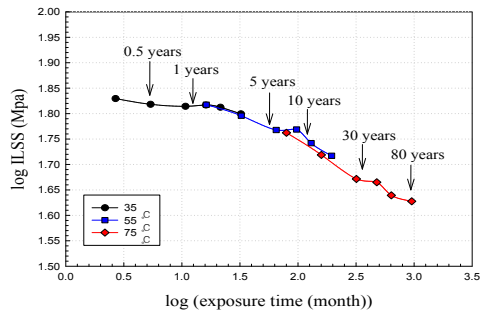


Fig. 3 Master curve of ILSS at reference temperature of 25°C.

Behavior of Fiber Reinforced Polymeric Composites: A Review of the Technical Literature," Journal of Reinforced Plastics and Composites, 14, 588-617, 1995.

2. Caceres, A., Jamond, R. M., Hoffard, T. A. and Malvar, L. J., "Accelerated Testing of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites-Test Plan," NFESC Special Publication SP-2091-SHR, 2000.