

필라멘트 와인딩 복합재의 환경노화에 따른 기계적물성 평가

최낙삼* · 김덕재** · 윤영주*** · 이상우****

Behaviors of Mechanical Properties of Filament-Winding-Laminated Composites due to Environmental Aging

Duck-Jae Kim, Nak-Sam Choi, Young-Ju Yun and Sang-Woo Lee

ABSTRACT

Degradation characteristics of filament-winded composites due to accelerated environmental aging have been evaluated under high temperature, water immersion and thermal impact conditions. Two kinds of laminated composites coated by an urethane resin have been used: carbon-fiber reinforced epoxy(T700/Epon-826, CFRP) and glass-fiber reinforced phenolic (E-glass/phenolic, GFRP). For tensile strength of 0° composites, GFRP did high reduction by 25% under the influence of high temperature and water while CFRP showed little degradation. However for water-immersed 90° composites both CFRP and GFRP showed high reduction in tensile strength. Bending strength and modulus of 90° composites were largely reduced in water-immersion as well as high temperature environment. Urethane coating on the composite surface improved the bending properties by 20%, however hardly showed such improvement for water-immersed 90° composites.

Key Words: Laminated Composites, Water Immersion, Thermal Impact, Degradation, Tensile Strength, Bending

1. 서 론

기존의 금속재료에 비하여 경량이면서 강도와 강성이 우수하기 때문에 섬유강화 수지 복합재료는 항공기, 경량 수송체 등의 구조재료로써

사용이 급속히 증대되고 있다. 실제 환경 조건 하에서 시간에 따른 복합재료의 물성변화와 수명을 정량적으로 예측할 수 있는 실험결과는 사용 중에 일어날 수 있는 급작스런 사고의 예방에 기여할 수 있을 것이다[1-3].

본 연구에서는 우레탄으로 표면코팅 처리된 복합재 압력용기가 받는 다양한 환경 노화거동을 파악하고자한다. 이를 위해 압력용기의 외관층을 구성하는 복합재(CFRP, GFRP)를 선정하여 고온, 수침, 열 충격의 가속조건으로 노화시켰을

* 한양대학교, 대학원 기계설계학과

** 교신저자, 한양대학교, 기계정보경영공학부 (nschoi@hanyang.ac.kr)

*** 국방과학연구소

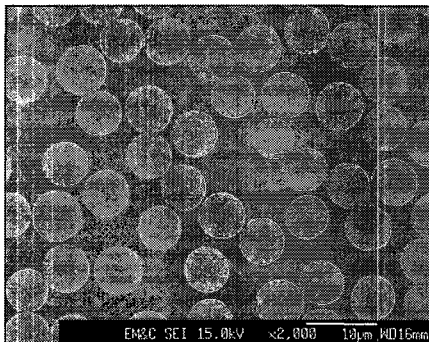
**** 한국화이버

때 재료의 인장 및 굴곡변형에 따른 물성변화를 평가함으로써 복합재료의 노화특성을 구한다. 또한 노화되지 않은 시편과의 비교를 통해 표면 코팅이 노화효과에 미치는 정도를 분석한다.

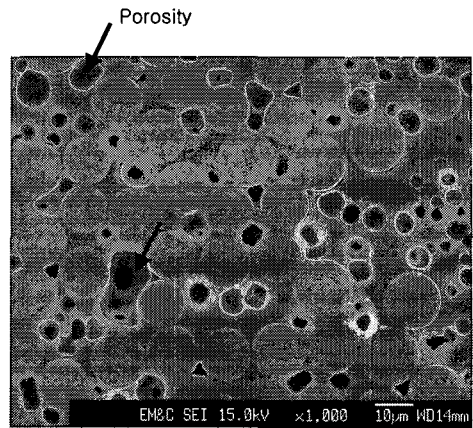
2. 실험방법

2.1 재료 및 시험편

본 시험에 사용된 복합재료인 T700/Epon-826 탄소섬유/에폭시 시편(CFRP)과 E-glass/Phenolic 시편(GFRP)은 필라멘트 와인딩(filament winding)공법을 사용하여 한국 화이버에서 제작하였다. 필라멘트 와인딩 공법은 섬유 스트랜드(fiber strands) 혹은 필라멘트(filaments)를 일정 형상의 회전 맨드렐(mandrel)상에 감은 후 경화시켜 복합재료 구조물을 제작하는 방법이다[4]. 이렇게 만든 큰 원통형의 복합재 탱크를 인장시편(15×250×0.8mm/0°방향, 25×175×2.0mm/90°방향), 굽힘시편(25×127×3.2mm/0°방향, 25×76×3.2mm/90°방향), 전단시편(20×76×2.5mm)으로 절단하여 ASTM규격에 맞게 각 시편을 제작하였다. Fig. 1(a)와 (b)는 각각 본 연구에서 사용한 CFRP와 GFRP시편의 내부구조를 주사형 전자현미경(SEM)으로 찍은 사진이다. CFRP는 탄소섬유와 에폭시 수지사이의 계면접합상태가 매우 양호하고 수지중에 기공 등의 결함이 거의 없었다. 하지만, GFRP는 유리섬유와 페놀수지 사이의 접합상태도 비교적 나쁜 편이었고 수지내부에 다량의 기공(porosity)이 함유되어 있는 다공질 구조였다.



(a) CFRP



(b) GFRP

Fig. 1 Microstructures of CFRP and GFRP composite laminate specimens used in this study

2.2 가속노화시험

(1) 고온노화시험

각 종류의 시편을 MIL-STD-810D시험규격에 따라 100°C 열풍오븐에 넣고 3주간 방치하였다. 열풍오븐내벽의 직접적인 시편 접촉은 접촉부의 물성 변화에 영향을 줄 수 있으므로 접촉되지 않도록 하였다.

(2) 수침노화시험

MIL-HDBK-17B시험규격에 따라 각 시편을 70±1°C의 항온수조에 넣고 2주간 방치함으로써 수침노화 시편을 만들었다.

(3) 열 충격 노화시험

각 시편을 MIL-STD-810시험규격에 따라 -40°C의 일정온도에서 24시간 처리 후 다시 80°C의 일정온도에서 24시간 처리하는 과정을 4회 반복함으로써 저온(-40°C)과 고온(70°C)의 반복적인 열 충격에 의해 노화된 시편을 만들었다.

2.3. 물성측정 시험

복합재료는 고온, 수분흡수 및 열 충격 가속노화 후에 탄성계수와 강도의 물성변화 데이터를 측정함으로써, 실제 환경에서 임의의 시간에

따른 물성의 저하치를 예측할 수 있을 뿐만 아니라 재료를 장시간 사용할 때 시간에 따른 노화정도를 예측할 수 있는 기초 데이터로 활용할 수 있다. 본 연구에서 수행한 인장시험, 굽힘 시험, 전단시험은 Zwick 250 만능시험기를 사용하여 실시하였다. 노화 전후의 각 기계적 시험 당시편 8개를 이용하여 그 값들에서 최대 값과 최소 값을 뺀 나머지에 대하여 평균을 구하고 오차범위를 계산하였다. 시험 후 데이터 처리는 ASTM 기준[5,6]에 따랐다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인장특성에 미치는 열화거동

Figure 2는 우레탄 코팅된 0° CFRP시편과 0° GFRP시편의 노화거동을 나타내는데, 0° CFRP 시편의 경우 고온, 수침 및 열 충격 노화에 의하여 전반적으로 강도가 저하 하였으나 이는 노화시키지 않은 시편을 기준으로 7% 미만 정도였다. 반면에 0° GFRP시편의 경우 고온 및 수침 노화에 의하여 각각 25%, 32%의 현격한 강도저하를 보였으며, 이는 0° GFRP시편이 우레탄 표면코팅에 의해서도 별다른 내구효과를 보지 못했음을 알 수 있다.

우레탄 코팅된 90° 복합재의 경우, Fig. 3에서 볼 수 있듯이 0° 복합재와는 달리 수지와 섬유 사이의 접합강도가 복합재의 인장강도에 큰 영향을 미치는데 수침 노화에서 CFRP와 GFRP의 인장강도가 각각 50%, 28% 만큼 크게 저하하였다. 이는 우레탄 표면코팅에도 불구하고 90° 복합재는 수분흡수에 의해 섬유/수지간 계면강도가 크게 저하하였으며 CFRP의 경우가 GFRP보다 더 열화되는 것으로 사료된다. 또한, 90° GFRP는 고온노화에 의해서도 인장강도가 26%만큼 저하하여, 약 11%의 인장강도 증가를 보이는 90° CFRP와는 아주 대조적인 열화특성을 보였다. 즉, 고온처리에 의해서 수지부의 경화가 더욱 진행하여 인장강도증가를 촉진하지만 90° GFRP의 유리섬유/수지간 계면부 강도가 저하하여 복합재의 90° 방향 인장강도가 크게

저하된 것으로 해석되었다. 한편 열 충격에 의해서는 90° CFRP와 GFRP가 모두 강도의 저하를 별로 나타내지 않았다.

우레탄 코팅된 0° 복합재의 인장탄성계수는 각 종류의 노화에 대해 비교적 미미하였으나, 수침노화 시편의 탄성계수 저하가 상대적으로 컸었다. 90° 복합재의 경우에는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 CFRP와 GFRP가 고온고속 노화에서 각각 8%와 5%의 탄성계수증가를 보였다. 90° 복합재의 탄성계수는 이론적으로 수지부의 탄성계수에 크게 의존함을 고려할 때, 이는 복합재시편의 수지부가 고온에서 좀 더 경화됨으로써 수지부의 탄성계수가 증가되고 이것이 결국 90° 복합재의 탄성계수를 증가시킨 것으로 해석된다. 수침노화로 인해서 CFRP는 탄성계수의 3%정도로 미미한 저하를 보였으나, GFRP는 32%의 현격히 큰 저하를 보여 유리섬유 및 유리섬유/수지 계면부가 강도뿐만이 아니라 탄성계수도 수분에 의해 매우 취약한 거동을 보였던 것이다. 열 충격노화에서 90° GFRP 복합재는 별다른 강도저하를 보이지 않았으나(Fig. 4) 탄성계수는 10%만큼의 큰 저하를 보여(Fig. 5) GFRP 복합재가 90° 방향으로 노화에 취약함을 나타낸 것이다.

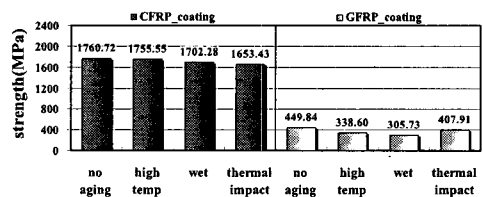


Fig. 2 Tensile strength of 0° longitudinal and coated specimens under various aging conditions

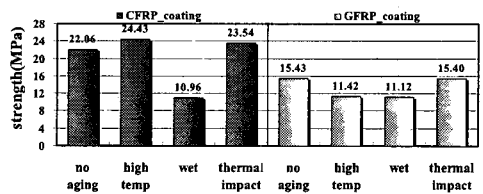


Fig. 3 Tensile strength of 90° transverse and coated specimens under various aging conditions

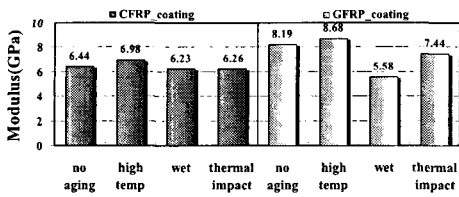


Fig. 4 Tensile modulus of 90° transverse specimens under various aging conditions

3.2 굽힘 특성에 미치는 열화거동

Figure 5를 보면 수침 노화에 의하여 0° CFRP 시편의 굽힘 강도는 14%의 저하를, 0° GFRP의 경우에는 47%의 큰 저하를 보였으며 인장강도에서 보던 바와 같이 0° GFRP가 수침 노화에 민감함을 보였다. 고온노화에 의해서 0° CFRP는 미미한 감소를 보였지만 0° GFRP는 오히려 약간 증가거동을 보였다. 또한, 열충격 가속노화를 받은 0° GFRP시편의 굽힘 강도는 노화하지 않은 시편보다 오히려 14%정도 증가한 것을 볼 수 있다.

90° 복합재의 굽힘 강도에서는 Fig. 6과 같이

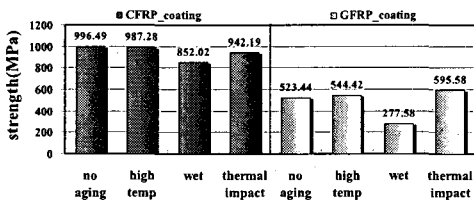


Fig. 5 Flexural strength of 0° longitudinal specimens under various aging conditions

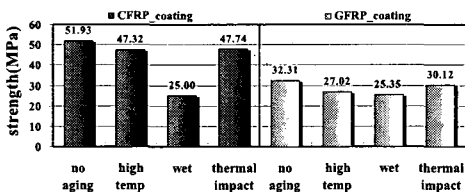


Fig.6 Flexural strength of 90°transverse specimens under various aging conditions

CFRP와 GFRP 각각 수침노화에서 52%, 48%만큼의 큰 저하를 보였으며 고온 및 열 충격노화에서는 9% 내의 열화거동을 나타냈다. 이는 90° 복합재의 굽힘 강도가 역시 인장강도의 열화특성에 흡사하게 노화에 매우 민감함을 나타냈다.

3.3 굽힘 열화특성에 미치는 우레탄 코팅의 효과

우레탄으로 표면코팅 처리된 시편의 실제 코팅효과를 알아보기 위해서 표면코팅 처리하지 않은 90° CFRP복합재 시편을 동일한 노화조건에서 노화시키고 굽힘시험 후 물성을 비교해 보았다. Fig. 7을 보면 표면코팅 하지 않은 시편의 굽힘 강도보다 표면코팅처리한 시편이 노화의 조건에 따라 다소 차이가 있었지만 최대 20% 정도 큰 값으로 나왔음을 알 수 있다. 이는 시편의 표면처리가 복합재 굽힘 물성의 노화방지에 긍정적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 특히 열 충격노화의 경우 가장 큰 효과를 보고 있음을 확인하였다.

하지만, 수침노화를 받은 90° 복합재시편의 굽힘 강도는 코팅에 의해서 오히려 21%의 저하를 초래하였는바 이는 굽힘 파괴시에 90° CFRP의 표면코팅부가 수분흡수로 인해서 취성적인 미세 표면균열을 먼저 일으키고 이 미세 표면균열이 90° CFRP의 수지부나 섬유/수지간 계면부를 공격하여 오히려 코팅효과가 부정적으로 나타난 것으로 볼 수 있다.

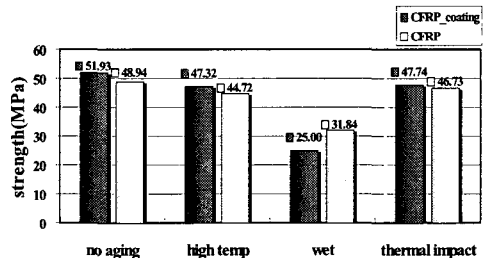


Fig.7 Surface coating effect on flexural strength of 90° transverse specimens under various aging

4. 결 론

본 연구에서는 압력용기가 받는 환경노화를 고려하여 우레탄으로 표면코팅 처리된 용기의 외관층인 복합재(CFRP, GFRP)를 고온, 수침 및 열 충격의 가속조건으로 노화시켰을 때 재료의 물성변화를 평가하였다.

- (1) 0° 복합재의 경우, CFRP는 전반적으로 노화에 의한 인장강도 저하가 미미하였으나, GFRP의 경우 우레탄 코팅에도 불구하고 고온 및 수분 접촉에 의해 인장강도가 25% 정도의 큰 저하를 보였다.
- (2) 90° 복합재의 경우, 수분 접촉 노화에 의해 CFRP 와 GFRP 모두 인장강도가 28% 이상으로 크게 저하되었다. CFRP의 굽힘 강도는 노화에 의해 전반적으로 감소하였지만, GFRP는 노화 후에 수지의 후경화의 영향으로 고온 및 열 충격 노화에서 굽힘 강도가 오히려 증가되는 것을 확인하였다. 하지만 수침노화에서 CFRP와 GFRP는 각각 52%, 48%만큼의 큰 저하를 보였으며, 고온 및 열 충격노화에서는 9% 내의 열화 거동을 나타냈다.
- (3) 노화거동을 개선하기 위한 우레탄 표면코팅효과를 굽힘 특성으로 검토한 결과, 전체 노화시험에 걸쳐 개선적 효과를 보이고 있으며 열 충격 노화에서 약 20%정도로 큰 개선효과를 보였다. 단, 수침노화를 받

은 90° 복합재의 굽힘 강도는 코팅에 의해서 오히려 21%만큼의 저하를 보였다.

참 고 문 헌

1. 황태경, 정현조, 정상기, 정발, 강병운, 김종식, "표준 공정/시험 평가용 복합재 압력용기에 관한 연구", 한국추진공학회 95 제4회 학술강연논문집, 1995, pp. 11-19.
2. 박명규, 류백능, 최영보, "T800/AD6005계 복합재의 습기투과에 관한 연구", 한국추진공학회 97 제9회 학술강연논문집, 1997, pp. 35-36.
3. G. S. Springer (Ed), " Enviromental Effects on Composite Materials", Vol.1(1981); Vol.2(1984); Vol.3(1988), Technomic Publishing Co. Ltd, Lancaster.
4. 윤영복, 조성원, 하성규, "필라멘트 와인딩 복합재 CNG 압력용기 최적설계", 대한기계학회논문집A, 제26권, 1호, 2002, pp. 23-30.
5. "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Material", ASTM Standards, Standard D3039/D3039M-95.
6. "Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", ASTM Standards, Standard D790-92