

초소형나사의 CFRP 적층판 적용에 따른 체결특성에 관한 연구[§]

최병희* · 김호중** · 김지훈***†

* 조선이공대학교 자동차과, ** 조선대학교 첨단부품소재공학과, *** 조선대학교 기계시스템공학과

Study on Fastened Properties by Applied to CFRP Laminates of Subminiature Screw

Byung Hui Choi*, Ho Joong Kim** and Ji Hoon Kim***†

* Dept. of Automobile, Chosun College of Science & Technology

** Dept. of Graduated School of Advanced Parts and Materials Engineering, Chosun Univ.

*** Dept. of Mechanical System Engineering, Chosun Univ.

(Received April 17, 2014 ; Revised July 3, 2014 ; Accepted July 21, 2014)

Key Words: CFRP(탄소섬유강화플라스틱), Torque(토크), Stacking Angle(적층각도), Tensile Test(인장실험), Subminiature Screw(초소형나사)

초록: 탄소섬유 강화플라스틱은 비강도, 비강성이 크고, 높은 감쇠 특성과 중량감소 측면에서 우수한 특성을 나타낸다. 그러나 탄소섬유 강화플라스틱은 재료의 적층각 또는 적층 순서에 따라 기계적 특성 차이가 크다. 또한 인장과 굽힘과 같은 하중을 받을 때 금속과 달리 파괴 예측이 어렵다. 본 연구에서는 최근 실생활에 밀접한 휴대용 스마트기기에 CFRP 적용을 위한 외부 충격에 정형화, 최적화 설계방식을 제시하고자 한다. CFRP를 적층각도별 기계적 특성을 얻고자 인장실험을 하였고, 각 적층각도별 체결 특성을 얻고자 판에 탭 가공 후 토크 측정기를 이용하여 풀림 토크와 체결토크를 측정하였다. 위 두 실험에 비교 분석하여 최적의 조건을 찾고자 한다. 인장실험에서 적층각이 Woven 시편에서 강도와 강성 값이 가장 우수하였다. 또한 복합재료에서는 기지와 적층배열 때문에 풀림방지 코팅나사의 효과를 보기 힘들다. [0_g/+45₂/-45₂/90_g]s 에서 체결력이 가장 우수했으나, 인장응력이 상대적으로 낮았다. 핸드폰에 적용을 위해 인장 특성과 체결력을 모두 충족하는 최적의 시편은 Woven 이다.

Abstract: This paper presents the application of carbon-fiber-reinforced polymer (CFRP) for the damage absorption and optimal design of portable smart devices to close in life . CFRP specimens are subjected to a tensile test to estimate their mechanical properties in terms of the stacking angles. Further, the screw reverse torque and screw torque at each stacking angle are determined using a torque tester after tapping holes on the CFRP specimens. Two experiments are performed for comparing their results in order to determine optimal conditions . In the tensile test, a woven specimen is found to have the highest strength and stiffness. In the case of the woven specimen, no difference is observed even when it is applied to prevent loosening of the coating. And average result value was excellent.

- 기호설명 -

σ : 인장응력(Tensile Strength)
 ϵ : 변형률(Strain)
P : 하중(Load)

A : 단면적(Cross sectional areas)
E : 탄성계수(Elastic Modulus)

1. 서론

현재 우주·항공산업, 운동·레저산업, 건축 구조부재, 자동차 부품 등 여러 산업분야에서 연비 향상, 원가 절감, 에너지 효율증가를 위해 재료 경량화를 노력하고 있다.⁽¹⁾ 최근에 가전제품이나 휴

[§] 이 논문은 2014년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2014. 4. 24.-25., 라마다프라자호텔) 발표논문임
† Corresponding Author, kjh@chosun.ac.kr
© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

대용 스마트기기 등 실생활에 밀접한 산업분야에서는 급속도로 경량화, 슬림화, 초소형화 됨에 따라 경량화 재료적용에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 경량화 재료로써 선진복합재료(Advanced Composite Material)의 하나인 탄소섬유 강화플라스틱(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic)은 비강도, 비강성이 크고, 높은 감쇠 특성과 중량감소 측면에서 우수한 특성을 나타낸다. 그러나 탄소섬유 강화플라스틱은 재료의 적층각 또는 적층 순서에 따라 기계적 특성 차이가 크다. 또한 인장과 굽힘과 같은 하중을 받을 때 금속과 달리 파괴 예측이 어렵다. 때문에 복합재료의 기계적인 특성을 분석하기 위해서 실험을 통하여 분석하고 있으며 많은 선행연구가 수행되었다.⁽²⁻⁵⁾

나사의 일반적인 목적은 물체들간에 체결하는 것이다. 단단히 조이는 것이 일반적이기는 하지만 얼마나 조일 것이냐는 상황에 따라, 목적에 따라 다르다. 일반적으로 볼트의 토크는 체결력을 의미하고, 토크로 인해 비틀린 나사는 결국 인장력을 받게 된다. 볼트를 단단히 조여서 높은 토크를 가하는 이유는 접촉 부의 마찰을 증가시켜 풀림을 방지하는 것이 1 차이고, 경미한 하중에 볼트가 늘어나 풀리는 것을 방지하기 위해 Pre-Tension 을 가하는 것이 2 차 목적이다. 그렇기 때문에 무리하게 높은 토크를 가하는 것은 볼트의 체결 강도를 약화 시키는 원인이 된다. 따라서 적당한 토크로 조이고, 풀림 방지 대책을 세우는 것이 바람직하다.^(6,7)

본 연구에서는 휴대용 스마트기기에 적용을 위한 외부 충격에 정형화, 최적화 설계방식을 제시하고자 한다. CFRP 를 적층각도별 기계적 특성을 얻고자 인장실험을 하였고, 각 적층각도별 체결 특성을 얻고자 판에 탭 가공 후 토크 측정기를 이용하여 풀림 토크와 체결토크를 측정하였다.⁽³⁾ 위 두 실험에 비교 분석하여 최적의 조건을 찾고자 한다. 그리고 동일한 시편에 풀림방지 코팅을 적용한 나사와 적용하지 않은 나사를 비교하여 나사에 풀림 방지 코팅의 적용이 복합재료 판재 적용에 적절인가에 대하여 적절성을 예측하고자 한다.

2. 실험방법

적층각도별 CFRP 판재 특성을 파악하고자 인장 실험을 수행하였다. 또한 각 시편에 탭 가공 후 M1.4 X 2.5L 를 이용하여 풀림 토크와 체결토크를 측정 하였다. 실험 후 각 시편들의 실험결과 간의 편차가 30% 이상 차이가 나는 경우 실험과정이나

제작과정에서 불량으로 판단하고 그 결과 값들은 제외하였다.

2.1 시험편

ASTM D3039/D3039M-00 규격에 따라 복합재료 전문업체인 (주)넥스컴스에서 제작하였으며 시편의 재료는 Uni-direction prepreg sheet(SK Chemical, USN125A)를 사용하였다. CFRP 는 적층각도별로 기계적 특성이 달라진다. 각각 시편들의 적층각도는 Woven, $[0_8/+45_2/-45_2/90_8]_s$, $[0_5/+45_5/-45_5/90_5]_s$, $[+45/-45]_{15}$ 으로 총 4 가지 이다. 시편의 개수는 각각 5 개이고 시편의 제원은 Table 1 과 같다. 인장 실험을 위해 시편양끝에 부착된 탭 길이는 55*25mm (Length* Width) 두께 2.0mm 이다. 시편의 두께차이는 각 Type 의 적층각도 및 배열 마다 조금씩 상이하다. $[+45/-45]_{15}$ 의 경우에는 두께가 두꺼우면 측정장비에서 정확한 Data 값을 얻을 수 없어서 측정 가능한 적절한 두께로 실험하였다.

2.2 인장실험

복합재료 인장실험은 ASTM D3039/D3039M-00 규격에 따라 실험하였다. 일반적인 인장 지그를 UTM 에 설치 후 시편의 양끝을 지그 그림에 고정시킨다. 시편 중앙에 스트레인 게이지를 부착하고 Strain-meter 와 연결한 후 2mm/min 정적 실험을 하였다. 실험값은 UTM 과 Strain-meter 에서 각각 하중과 변형량을 얻은 후 응력-변형률 선도를 얻을 수 있다. 실험은 온도 $23 \pm 3^\circ\text{C}$ 상대습도 $50 \pm 10\%$ 인 환경조건에서 실험을 진행하였다. 이는 환경요인에 의한 실험적 실패를 방지하고자 함이다.⁽¹⁰⁾

Table 1 Test specimen specification

Type	Specimen	Length * width	Thickness
A	Woven	250mm*25mm	4.6mm
B	$[0_8/+45_2/-45_2/90_8]_s$	180mm*25mm	5.0mm
C	$[0_5/+45_5/-45_5/90_5]_s$	250mm*25mm	4.3mm
D	$[+45/-45]_{15}$	250mm*25mm	3.1mm

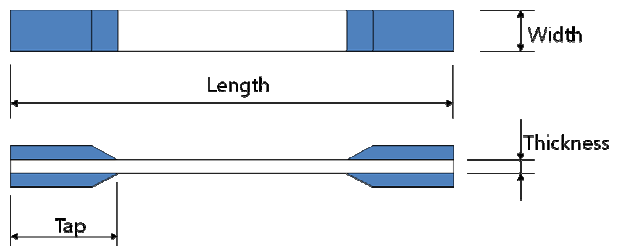


Fig. 1 Test specimen

2.3 토크측정실험

위 각 시편에 휴대폰에 적용하고 있는 M1.4 미터 보통 나사를 적용하기 위해 드릴경 ø1.08 로 가공 후 탭 가공하였다. 토크측정기 Torque tester DIS series RL005 를 사용하여 최대 체결토크와 풀림토크를 각각 얻었다. 토크 측정실험은 해당시편을 지그에 고정시킨 후 해당 탭에 나사를 체결한다. 볼트를 완전히 체결했을 경우 체결토크라고 하고, 풀림토크는 체결토크의 1/2 값으로 임의 결정하여 시험하였다.^(8,9)

적용 나사는 (주)서울금속에서 생산하여 스마트기에 적용하고 있는 미터 보통 나사 M1.4 x 2.5L (피치 0.3mm, 나사산 60°)를 사용하였다. 볼트머리는 ø2.5mm 높이 0.5mm 동일 크기의 나사산에 풀림방지 코팅과 풀림방지 코팅을 적용하지 않은 나사를 각각 시편에 체결하였다. 풀림방지 코팅은 ‘3M(TM) Fastener Adhesive 2510 Orange’ 을 사용하고 나사산부분에만 얇게 도포하였다. 시편에 일정한 간격으로 3 개씩 6 세트 관통 탭 가공을 하였다. 아래 Fig. 2 는 탭 가공된 시편에 두 종류의 나사를 체결한 시편이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인장실험 결과

UTM 과 Strain-meter 에서 각각 하중과 변형률을 식 (1), (2)를 통해 Stress-Strain Curve 을 그리고 Table 2 에서 인장강도와 탄성계수를 구했고 Fig. 3 에서 적층각도별 강도와 강성 값을 그래프로 나타냈다. Type A, B, C 모두 선형 형태를 나타내고 있다. 인장강도는 Type A 에서 높게 나타났고, 그 다음은

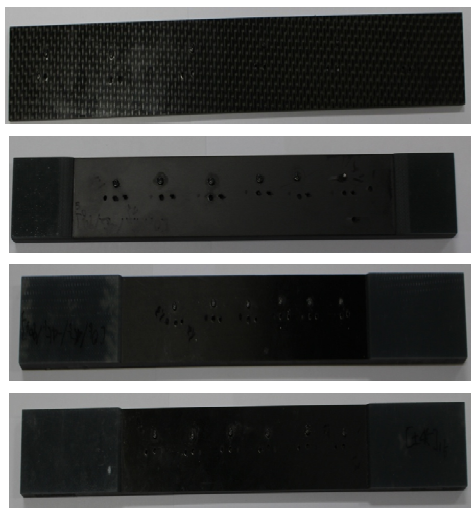


Fig. 2 Torque Test Specimens (woven, [0/90]₁₀, [0_s/+45_s/-45_s/90_s]_s, [+45/-45]₁₅)

Type C, B, D 순서이다. 강성 값은 Type A 에서 가장 높게 나타났고, Type B, C, D 순서이다. Type D 는 비선형 형태를 나타내고 있다.

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} \tag{1}$$

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \tag{2}$$

3.2 토크측정실험 결과

복합재료에 실제 핸드폰에 적용된 초소형 나사를 적용 시 풀림이 적고 우수한 토크값을 갖는 최적의 조건을 찾기 위해 적층각도별 체결토크를 풀림방지 코팅을 적용한 나사와 적용하지 않은 나사를 체결하여 토크측정을 한 후 각각 토크력을 비교하였다. Fig. 4 에서 체결토크가 가장 좋은 시편은 풀림방지 코팅을 적용하지 않았을 때 Type B, A, C, D 순서이다. 풀림방지 코팅을 적용했을 때는 Type A, C, D, B 순서이다. Fig. 5 에서는 적층각도별 풀림 토크에 대해 풀림방지 코팅을 적용한 나사와 적용하지 않은 나사를 비교하였다. 풀림 토크가 가장 좋은 조건은 풀림방지 코팅을 적용하지 않은 Type B, A, C, D 순서이다. 풀림방지 코팅을 적용했을 때 결과는 Type A, C, D, B 순서이다.

Fig. 4 와 Fig. 5 에서 Type A 는 풀림 방지 코팅을 적용한 나사와 적용하지 않은 나사를 비교해 보면

Table 2 CFRP Strength-Stiffness

Type	Specimen angle	Strength [GPa]	Elastic Modulus
A	Woven	0.70	74.2
B	[0 ₈ /+45 ₂ /-45 ₂ /90 ₈] _s	0.54	62.33
C	[0 ₅ /+45 ₅ /-45 ₅ /90 ₅] _s	0.56	49.75
D	[+45/-45] ₁₅	0.09	11.57

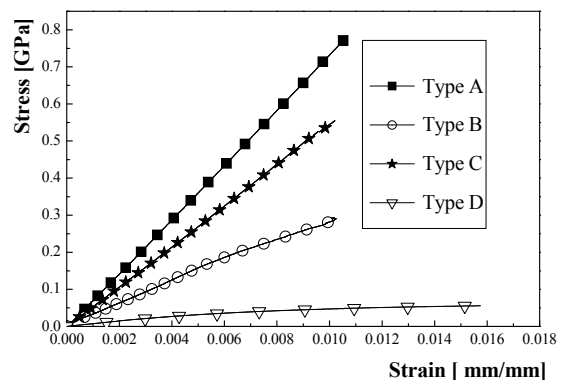


Fig. 3 Stress-Strain curve of each stacking angle

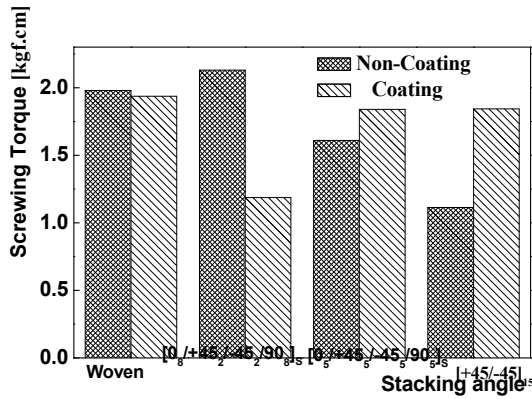


Fig. 4 Screwing torque of stacking angle

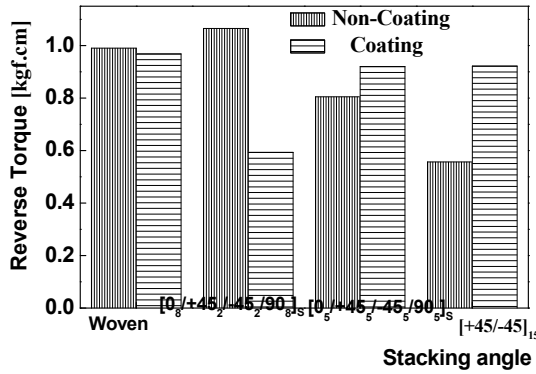


Fig. 5 Screw reverse torque of stacking angle

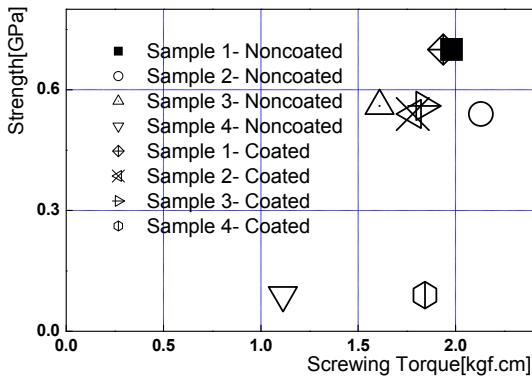


Fig. 6 comparison of tensile strength and screwing torque

거의 비슷하다. 하지만 Type B에서는 풀림방지 코팅을 하지 않았을 때 체결력이 2 배정도 높았다. 있다. Type C 와 Type D 에서도 10%~40% 차이가 있었다. 그러므로 복합재료에 풀림방지 코팅 나사를 적용하여도 토크력 개선에 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다. 이러한 이유는 섬유 적층 방향에 대한 영향과 함께 나사산에 기지(Resin)가 나사산에 끼어 토크력에 영향을 주는 것으로 생각된다.

추후 연구에서는 다양한 적층각도에 대한 변화와 나사조건의 변화를 통해 실험 결과값에 어떠한 영향을 미치는지 추가 연구가 필요하다.

Fig. 6 에서는 응력과 토크력 사이의 상관관계를 그래프로 표현하였다. 우수한 인장강도를 가지면서 나사를 체결했을 때 체결력이 높은 최적의 조건은 풀림방지 코팅을 하지 않은 경우 Type A 이며, 가장 좋지 않은 조건은 풀림방지 코팅을 하지 않았을 때 Type D 이다.

4. 결 론

스마트기기에 CFRP 적용을 위해 강도 및 체결력 모두 만족하는 최적의 조건을 찾고자 적층각도별 인장실험으로 강도, 강성 값을 측정하였고, 토크측정기로 시편에 나사를 체결하여 체결토크와 풀림 토크를 측정하였다.

인장실험에서는 직조형태의 Woven 시편에서 강성 값이 가장 높게 나타났다. 토크 측정에서는 나사에 풀림방지 코팅을 적용하지 않은 경우 [0₈/+45₂/-45₂/90₈]_s 에서 높은 값을 나타냈으나, 풀림방지 코팅 적용 시에는 토크값이 현저하게 낮았다. 복합재료에 대하여 풀림방지 코팅 나사를 적용한 결과 적층각도 배열과 기지(Resin)의 영향으로 풀림 방지 효과를 기대하기는 힘들다. Woven의 경우에 풀림방지 코팅나사와 무코팅 나사의 차이가 거의 없으며 우수한 결과값을 나타냈다.

복합재료의 특성상 적층각도에 따라 강도가 각자 다르고, 체결토크 역시 적층각도, 배열에 따라 차이가 있었다. 위 내용을 토대로 초소형나사를 휴대용기기 적용을 위해 우수한 강도 및 체결력을 갖는 조건은 Woven 이다.

또한 본 논문에서는 기초실험을 통한 각 시편별 경향을 파악하였지만 추후 실험에서는 실제 모델과 동일한 시편을 통해 접근하고 외부 환경변수를 고려하여 신뢰성을 높일 필요가 있다.

후 기

“ 본 논문(저서)은 산업통상자원부 산업기술혁신사업(우수기술연구센터사업)으로 지원된 연구임 (No.10045724)”

참고문헌 (References)

(1) Yang, I. Y., Kim, J. H., Kim, C. j., Cha, C. S. and Kim, K. H., 2012, “Recalculation Research of Material Properties for CFRP FEM Non-Linear Analysis,”

- KSMTE*, Vol. 21, No. 4, pp. 608~612.
- (2) Kim, H. J., Kim, J. H., Ra, S. W. and Kim, J. H., 2013, "Reliability Design for Interaction Between Light-Weight Material of Carbon Composite and Subminiature Screw," *Proceedings of the KSME 2013 Annual Meeting*, pp. 1809~1810.
- (3) Yang, I. Y., Kim, J. H. and Kim, J. H., 2008, "The Characteristics of Flexure Strength and Rigidity in Light-weight CFRP Members," *KSPE*, Vol. 25, No. 11, pp. 95~99.
- (4) Kim, J. H., Jeong, J. A. and Kim, J. H., 2012, "Bending Characteristic Evaluations Circular Cross-Section Carbon Composite and Hybrid Structural Material," *KSMTE*, Vol.21, No. 3 pp.421~424.
- (5) Yang, I. Y., Kim, J. H. and Kim, J. H., 2009, "Characteristics of CFRP Structure of Bending Strength and Rigidity According to Stacking Orientation Angle," *Advanced Materials Research*, Vol.83-86, pp.530~536.
- (6) Choi, J. H., Chun, Y. J. and Kwoen, J. H., 2002, "A Study on the Strength of Mechanically Fastened Composite Joint," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol.15, No. 4, pp. 9~16.
- (7) Thoppul, S. D., Finegan, J. and Gibson, R. F., 2009, "Mechanics of Mechanically Fastened Joints in Polymer-Matrix Composite Structures," *Composites Science and Technology*, Vol. 69, pp. 301~329.
- (8) Hwang, S. T., Kim, I. R. and Ra, S. W., 2013, "A study on Material Properties of Subminiature Screw for Clamping force Improvement," *Proceedings of the KSME 2013 Annual Meeting*, Vol. 2013, No. 12, pp. 1815~1820.
- (9) 2011, Specific Report About Fastening Structure Change According to Clamp Load Value by Screw, Corp. Asia bolt.
- (10) Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, D3039/3039M-00.