

카본-페놀 직물복합재료의 층간인장물성 측정기법

이지형* · 김형근* · 이형식*

Test Method on Interlaminar Tensile Properties of Carbon Fabric Reinforced Phenolic Composites

Jihyung Lee* · Hyoungeun Kim* · Hyungsik Lee*

ABSTRACT

Through-the-thickness properties of thick-walled cylindrical composites are required to determine structural performances because interlaminar tensile stress is primarily responsible for structural failure of the composites during their curing process. It is necessary for evaluating the tensile properties to find individual test methods to find appropriate methods because there are no recognised international standards(test methods and test specifications) available for generating reliable tensile properties in the direction. This paper has performed an experimental study to measure that properties of carbon fabric/phenolic composites which are produced by domestic company. Several test methods using an aluminum specimen were compared and evaluated. The best test method to measure transverse through-the-thickness properties of composite materials was developed by the experimental results that strain trends on all faces of composite specimen are the same.

초 록

적층 복합재료를 구조재로 이용할 경우 발생하는 구조적 파단과 두꺼운 원환체 형상의 복합재를 성형 할 경우 발생하는 층간파단(interlaminar failures)은 주로 층간 인장응력에 기인하기 때문에 적층 복합재료의 층간인장 물성은 구조해석 시 요구되는 물성이다. 그러나 복합재료의 층간 인장물성은 국제적으로 통일된 시험방법 및 시험규격이 없고 신뢰할 수 있는 물성자료가 없어 자체적인 평가를 수행하여야 한다. 본 논문에서는 국내에서 내열/구조재로 생산되고 있는 카본/페놀 복합재료의 층간 인장물성 비교/평가에 앞서 층간 인장물성의 측정에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 시험방법 연구에서는 알루미늄 시편을 이용하여 재료의 탄성한계 내에서 몇 가지 실험을 수행하여 시험방법을 비교 평가하였으며 그 결과로 선정된 시험방법을 복합재료에 적용하였다. 실험의 결과, 복합재 시편의 모든 면에서 같은 경향의 변형률을 얻음에 따라 저 하중에서 파단이 발생하는 복합재료의 층간 인장물성 최적 시험기법을 확보하였다.

Key Words: 층간 인장물성(transverse tensile property), 층간파단(interlaminar failures), 적층 복합재료(Layered composite materials), 카본-페놀 복합재(carbon phenolic composite)

† 2006년 5월 23일 접수 ~ 2006년 9월 11일 심사완료

* 정회원, 국방과학연구소 기술연구본부 4부

연락처, E-mail: im_ljh@hanmail.net

1. 서 론

적층 복합재료를 구조재로 이용할 경우 층간 인장응력에 의하여 구조적 파단이 발생 할 경우가 있다. 특히 두께가 20mm이상의 두꺼운 형상인 경우, 성형 중 두께방향 온도차이로 발생하는 잔류응력이 층간 인장강도 보다 커져 층간분리(delamination) 현상이 일어나는 경우도 있다. 이러한 적층 복합재료의 층간인장 물성은 구조해석 시 반드시 요구[1]되나 현재 전 국제적으로 통일된 시편규격 및 시험규격이 없고 실험이 어려워 기술선진국에서는 자체적인 시험방법으로 층간 인장물성을 평가하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 국내에서 적용중인 카본-페놀 복합재료의 층간인장 물성을 측정하기 위하여 수행한 몇 가지 시험방법 중 채택된 최적 층간인장 시험방법을 소개하고 이 시험방법을 항공우주용 구조/내열재로 사용되는 적층식 카본-페놀 복합재료에 적용하여 획득한 결과를 수록하였다[2].

2. 층간인장 물성시험

2.1 시험시편 형상

실험에 사용된 시편형상은 인장과 압축물성의 측정이 가능한 영국의 DERA(Defence Evaluation and Research Agency)에서 개발한 시편형상을 사용하였다. 시편의 총 길이는 38 mm이며 길이가 12mm인 게이지 부착 부위를 가지고 단면적이 $10\text{mm} \times 16\text{mm}$ 으로 형상은 Fig. 1과 같다[3]. 시편은 적층공법으로 제작된 평판을 DERA형상으로 가공하였으며 가공 후 X선 투과검사를 실시하여 시편내부에 결함이 존재하지 않는 시편을 사용하였다. 또한 시험 시 시편의 모든 면에서 균일한 하중이 전달되는지를 판단하기 위하여 시편의 모든 표면(4면)에 스트레인 게이지를 부착하여 동일하중에서의 변형률의 차이를 확인하였다.

2.2 시험방법의 비교평가

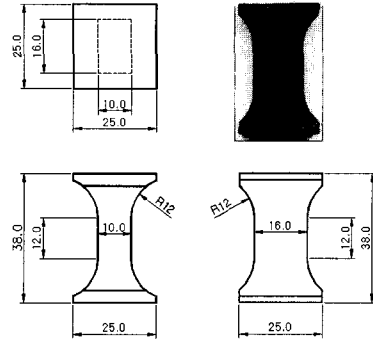


Fig. 1 Shape of DERA specimen

복합재 시편의 층간인장 물성은 일반적인 금속재와 달리 저 하중, 저 변형률에서 파단이 발생하기 때문에 하중이 균일하게 전달되어야 한다. 따라서 복합재 시편시험에 앞서 알루미늄 시편을 제작하여 알루미늄의 탄성한계 범위 내의 하중(300kgf 이하)으로 측정기의 정렬상태 및 시험방법의 적합성을 평가 한 후 카본-페놀 복합재 시편시험을 수행하였다. 시험에 사용된 측정기는 Instron 4505를 이용하였다.

2.2.1 AI 시편시험

인장 시험기에 시편을 장착할 수 있는 방법은 핀을 사용하거나 그립을 사용하여 시편을 고정시키는 방법이다[4, 5]. 적절한 인장 시험방법을 채택하기 위하여 두 가지 방법의 시편을 제작하여 여러 가지 시험을 수행한 결과 측정기에서 부가하는 인장력의 작용선이 시편에 작용하는 인장력의 작용선과 불일치하여 시편의 모든 면에 균일한 하중이 전달되지 않아 시편에서 굽힘이 발생함을 알 수 있었다(Fig. 2, 3 참조).

또한, 인장력의 중심선이 자유롭게 이동이 가능하도록 다 점접형인 체인을 사용[3, 4]하여 시험을 수행한 결과 신호의 선형성은 확보 되었으나 채널별 변형률 편차가 발생하였다(Fig. 4, 5 참조).

이러한 시험의 결과를 볼 때 시험치구의 내면 가공 면과 시편의 가공 면이 제작공차에 따라 서로 약간의 차이가 발생함에 따라 인장하중 인가 시 치구와 시편의 접촉면이 달라지고(4면이 동시에 하중 전달이 어려움) 이 현상으로 4면의

변형률 값이 달라지는 것으로 판단되어 시험치구 내면에 성형고무를 이용하여 고무를 부착하였다. 즉, 인장하중 인가 시 치구와 시편내부에 Hydro-Static 압력이 작용하게 함으로써 인장하중이 시편의 4면에 동일하게 적용되도록 치구를 수정하였다. 시험치구 내면과 시편의 공차를 무시할 수 있도록 고무의 두께를 선정 후 내면의 성형치구를 설계 제작 하였고 복합재 시편과 동일한 형상으로 제작된 AI시편을 사용하여 고무를 성형하였다. 성형된 고무의 종류를 바꾸어 가며(RTV, EPDM, 실리콘) 성형 후 시험도 수행하였으나 고무의 재질 및 경도에 따른 신호의 변화는 거의 없었다. Fig. 6은 Instron에 장착된 시험치구 형상을 Fig. 7은 시험결과를 보여준다. 신호의 크기와 측정 면별 변형률 크기는 4면 모두에서 선형적이며 같은 크기의 신호를 나타내

고 있음을 보여준다. 또한, 복합재의 파단이 예상되는 낮은 응력(20 MPa 이하)에서의 선형성과 신호의 크기는 4면에서 일정하게 유지됨을 알 수 있다. (평균 변형률($1440 \pm 60 \mu\epsilon$)이내) 따라서 이 시험방법을 복합재 시편 시험방법으로 선정하였다.

2.2.2 복합재 적용시험

AI 시편 시험결과로 선정된 다절점 고무패드형 시험치구를 이용하여 복합재 시편 시험을 수행하였다. Fig. 8은 시험치구에 장착된 복합재 시편의 형상을 보여주고 Fig. 9는 시편의 각 면에서 측정된 변형률을 보여주며 Fig. 10은 제작된 시편 6개의 시험결과를 보여준다.

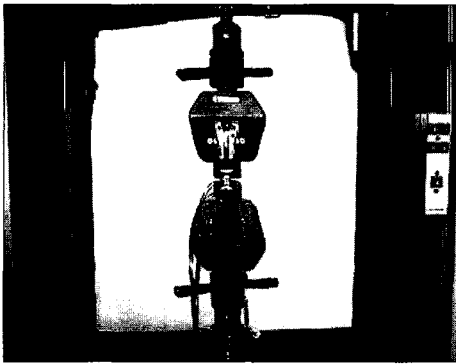


Fig. 2 Test Fixture using Grip

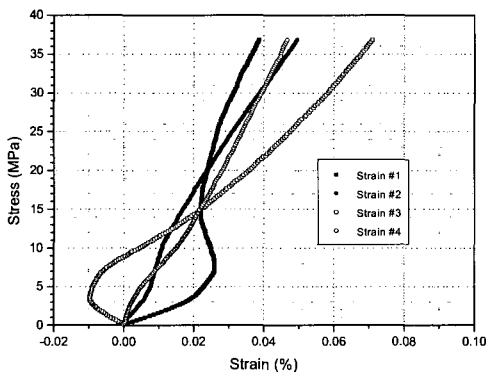


Fig. 3 Test Results Using Grip

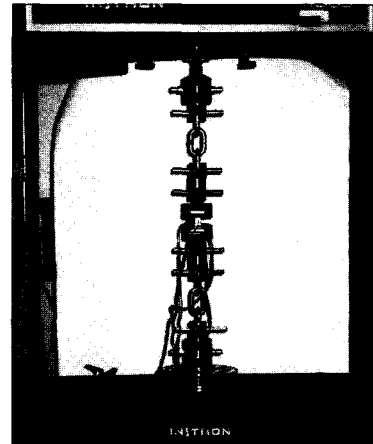


Fig. 4 Test Fixture using Chain

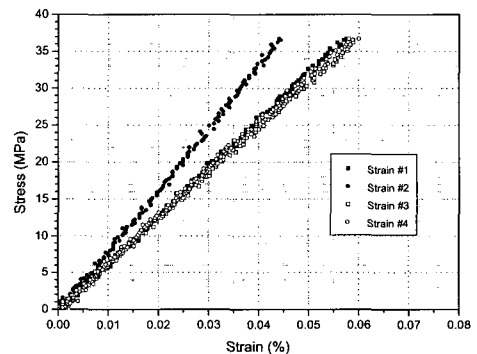


Fig. 5 Test Results using Chain

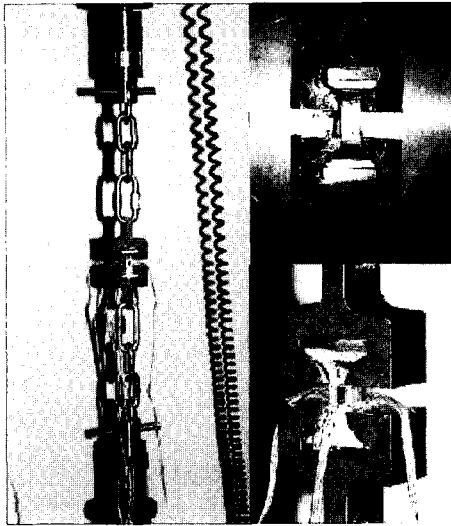


Fig. 6 Test Fixture using Chain and Rubber Pad

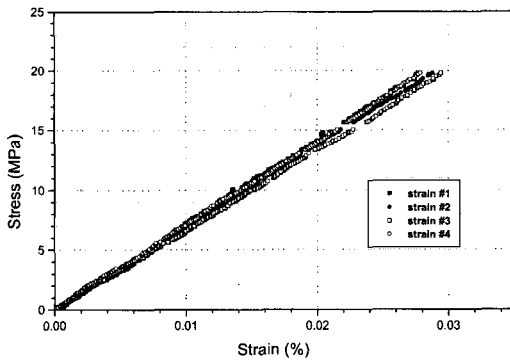


Fig. 7 Test results using Chain and Rubber Pad

시험은 Instron의 속도를 0.5mm/min의 속도로 인장하중을 증가시켜 가며 변형률의 변형량을 측정하였다. 1K-CP는 1000가닥의 mono filament가 bundle을 이루는 PAN계 fiber로 구성되며 Phenolic Resin(SC-1008)을 matrix로 사용하여 만든 fabric을 적층하여 만든 내열소재이다. 시편은 Fig. 1의 형상과 동일하게 적층하여 가공하였다.

시험의 결과 Strain-Stress선도는 선형적이었으며 시편의 파단 시 작용한 평균 하중은 234.4 kgf(2,297N)이며 두께방향의 평균 탄성계수는

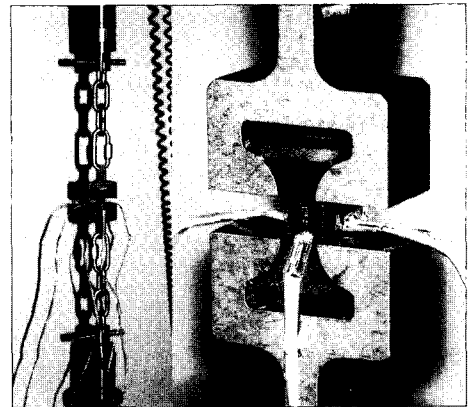


Fig. 8 Test Fixture of Composite Specimen

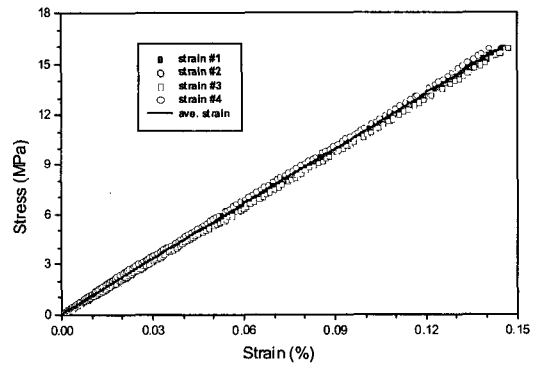


Fig. 9 Test Results of Composite Specimen

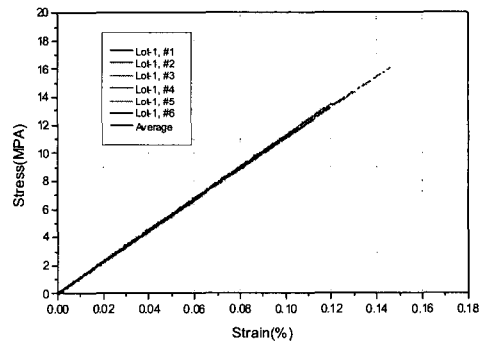


Fig. 10 Test Results of Six Specimens

11.36 GPa로 측정되었다. Table 1은 각 시편별 파단 시 작용한 물성치를 보여준다.

Table 1. Tensile Properties of Carbon/Phenolic Composite

	Load (N)	Strain (%)	Stress (MPa)	Modulus (GPa)	Deviation (%)
# 01	2,107	0.114	13.17	11.553	0.19
# 02	2,153	0.117	13.46	11.504	0.14
# 03	2,213	0.122	13.83	11.336	0.03
# 04	2,358	0.130	14.74	11.338	0.03
# 05	2,327	0.129	14.54	11.271	0.09
# 06	2,623	0.146	16.40	11.233	0.13
Ave.	2,297	0.126	14.36	11.364	-

3. 결 론

본 연구에서 국내에서 적용중인 카본-페놀 복합재료의 층간인장 물성을 측정하기 위하여 수행한 시험결과는 다음과 같다.

- 1) 복합재 시편의 층간인장 물성은 일반적인 금속재와 달리 저 하중, 저 변형률에서 파단이 발생하기 때문에 측정기에서 부가하는 인장력의 작용선이 시편에 작용하는 인장력의 작용선과 일치가 중요하다.
- 2) 시편의 가공 시 발생하는 가공오차에 의한 인장력 작용선의 불일치를 시편과 치구의 경계면에 고무 패드를 부착함으로써 시편의 모든 면에서 변형률의 선형성을 확보 하였고 또한 AI 시편의 경우 각 면에서의 변형률의 편차는 4%미만이었다.

3) AI 시편 시험을 통하여 선정된 다 절점 고무패드형 시험치구는 저 하중, 저 변형률의 인장시험에 적합하며 복합재 층간 인장 시험의 적용이 가능하다.

4) 다절점 고무패드형 시험방법을 복합재료에 적용한 결과 4면에서의 변형률의 편차는 2%미만이었으며 6개의 시편을 시험한 결과 시편 간 물성치의 오차는 0.14%미만 이었다.

참 고 문 헌

1. 이선표, 이정운, "열경화성 복합재 로켓 방화벽의 파손예측", 한국 추진공학회지 제9권 제2호, 2005, pp.25-31
2. Daniel Gay, S. V. Hoa, S. W. Tsai " Composite Materials: Design and Applications ", CRC Press, 2003, pp. 135-180
3. Ed. by J. M. Hodgkinson, "Mechanical Testing of Advanced Fibre Composites" , CRC Press, 2000, pp.143-169
4. "Standard Test Methods for Tension Testing of Carbon and Graphite Mechanical Materials", ASTM Standard C 565, ASTM International, 1993
5. "Standard Test Methods for Tensile Stress-Strain of Carbon and Graphite, ASTM Standard C 749, ASTM International, 1992