

# FBG 센서를 이용한 PAN계/Rayon계 탄소 직물 하이브리드 복합재료의 성형 공정 연구

김재홍\*, 박종규\*\*, 강태진\*

## A study on the processing of phenolic composite reinforced with hybrid of PAN based/Rayon based carbon fabrics using FBG sensor system

Jae Hong Kim, Jong Kyu Park and Tae Jin Kang

### Abstract

The processing of phenolic composite reinforced with hybrid of PAN based/Rayon based carbon fabrics using FBG sensor and thermocouple was studied. Once the composite is cured, the reflection spectrum from the FBG sensor shifted the center wavelength with an increase in the temperature. Also, the change in the form of the reflection spectrum obtained during the cooling process of the cure cycle was caused by the thermal shrinkage. During the curing process, uniform distribution of the temperature profile was observed throughout the sample.

**Key Words:** Hybrid composite, Carbon fiber, FBG sensor, Cure monitoring, Residual stress

### 1. 서 론

Rayon계 탄소섬유는 열전도도가 낮고 단열성이 우수하며, 표면이 매끈하지 않아 층간 전단강도 및 횡간 인장강도가 우수하다는 장점을 가진다. 그러나 탄화수율이 20~30%에 불과하고, 제조공정 상 공해물질과 폐수가 많이 발생되며 가격 경쟁력이 떨어진다는 단점을 가지고 있다. 이에 비해, PAN계 탄소섬유는 인장, 굽힘 강도 등의 기계적 특성이 우수하고, 가격 경쟁력이 뛰어난 반면, 열전도도가 높아 내열재료 등의 용도로 사용하기에는 제약이 따른다. 저 열전도도와 높은 층간 결합력 등 내열/단열 재료로서의 복합재료에 요구되는 주요 특성을 한층 더 향상시키기 위한 방안으로 두 직물의 hybridization을 들 수 있다.

Hybridization은 단일 종류의 강화재를 사용할

때 생길 수 있는 다른 물성의 저하를 방지하기 위해 두 종류 이상의 강화재를 사용하는 것으로, 강화된 섬유와 기지재의 계면에 따라 그 성격이 좌우된다고 할 수 있다.

PAN계/Rayon계 탄소 직물 하이브리드 복합재료의 제조 시 두 탄소 직물의 열적 특성 차이와 직물의 형태에 따른 열팽창 및 열수축의 차이가 잔류응력을 발생시킬 수 있으며, 또한 두꺼운 적층 복합재료로 경화시킬 때 복합재료 중심부와 표면간의 온도 차이로 인해 기지재의 반응속도와 반응의 진행 정도가 위치에 따라 달라질 가능성이 있다. 이에 따라 기지재의 degradation이나 잔류응력이 발생할 수 있다.

복합재료내의 잔류응력은 재료의 파괴에 커다란 영향을 미치며 복합재료 설계에 있어서 무시할 수 없는 요인으로 작용한다. 이러한 이유로 복합재료의 design이나 평가를 함에 있어 열적인 하중에 의해 발생하는 잔류응력을 고려할 필요성이 있다.

FBG 센서는 광섬유 코어의 굴절율을 주기적으로 변조하여 특정 파장의 빛을 반사시키는 광섬

\* 서울대학교 재료공학부  
\*\* 국방과학연구소

유 소자로서 복합재료의 경화 공정을 실시간으로 모니터링 하는데 아주 적절하다.

본 연구에서는 전구체의 종류에 따라 PAN계/Rayon계, 직물의 형태에 따라 방적사 및 연속사 탄소 직물을 사용하여 복합재료를 제조하였고, FBG 센서와 thermocouple을 이용하여 복합재료의 경화 공정을 모니터링 함으로써 하이브리드 복합 재료 성형 시 잔류응력 발생을 최소화 할 수 있는 방안을 모색하였다.

## 2. 실험

### 2.1 PAN계/Rayon계 탄소 직물 복합 재료의 제조

방적사 및 연속사 형태의 PAN계 탄소 직물과 연속사 형태의 Rayon계 탄소 직물에 페놀 수지를 고르게 도포하여 프리프레그를 제작하였다. 복합재료의 적층수는 8장으로 하였고, 경화는 hot press에서 시행하였으며, 150°C에서 2시간동안 경화하였다. 압력은 20kgf/cm<sup>2</sup>하였다.

### 2.2 시험 방법

#### 2.2.1 FBG 센서의 반사 spectrum 변화

페놀 수지와 PAN계/Rayon계 탄소 직물 복합 재료의 경화 모니터링을 위해 시편의 4-5layer사이의 중간 위치에 FBG 센서를 삽입하였다. 압축 성형 시 FBG 센서의 파손을 막기 위해 실리콘 튜브 내에 FBG 센서를 삽입하였다.

또한, FBG 센서의 반사 spectrum의 변화는 OSA(Optical Spectrum Analyzer)를 이용하여 측정하였다.

#### 2.2.2 경화시 온도 분포 측정

페놀 수지와 PAN계/Rayon계 탄소 직물 복합 재료의 경화 시 온도 분포를 측정하기 위해 thermocouple을 사용하였다. 두꺼운 적층 복합재료 제조 시 위치에 따라 온도가 달라질 수 있기 때문에 시편의 위, 아래, 중간, 모서리에 각각 thermocouple을 삽입하였고, LabVIEW system을 이용하여 실시간 모니터링 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 페놀 수지의 경화 모니터링과 FBG 센서의 온도 의존성

페놀 수지의 경화 cycle을 바탕으로 기본적인 기계적 물성을 유지하면서 잔류응력을 최소화 할 수 있는 경화 조건을 결정하기 위해 페놀 수지의 경화 모니터링을 실시하였다.

FBG 센서를 삽입하여 페놀 수지만을 경화 시킬 때 반사 spectrum의 변화와 시간에 따른 파장 변화, 온도 분포를 그림. 1과 그림. 2, 그림. 3에 나타내었다.

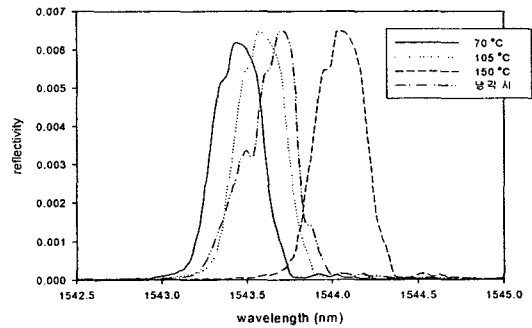


그림. 1 페놀 수지의 경화 시 반사 spectrum

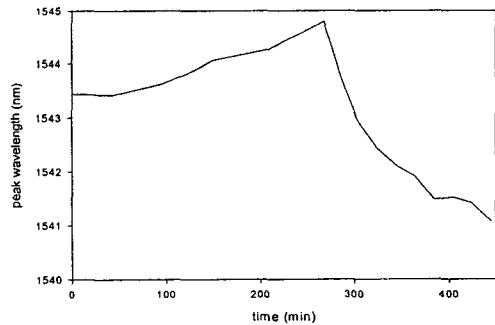


그림. 2 페놀 수지의 시간에 따른 파장 변화

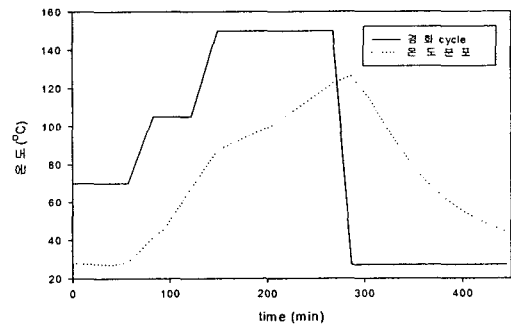


그림. 3 페놀 수지의 경화 시 온도 분포

그림. 1에서 FBG 센서의 반사 spectrum은 온도가 증가함에 따라 장파장 쪽으로 이동함을 볼 수 있다. 수지의 경화가 일어나기 전까지 나타나는 파장의 변화는 거의 전적으로 온도 변화에 기인하는 반면, 냉각 시에는 경화된 기지재가 광섬유를 구속하고 있으므로 기지재의 열수축에 의해서도 크게 영향을 받는다. 경화 전후의 상온에서 측정된 파장이 크게 차이나는 것은 이러한 현상에 기인하는 것으로 보인다. 또한, 온도 분포에서 hot press의 온도가 150℃정도 되더라도 실제 시편의 온도는 그에 미치지 못함을 확인할 수 있었다.

폐놀 수지에 대한 냉각 시 경화된 기지재의 열수축 정도를 확인하기 위해 FBG 센서의 온도 영향에 대한 실험을 별도로 실시하였다. 그 결과를 그림. 4와 그림. 5에 나타내었다.

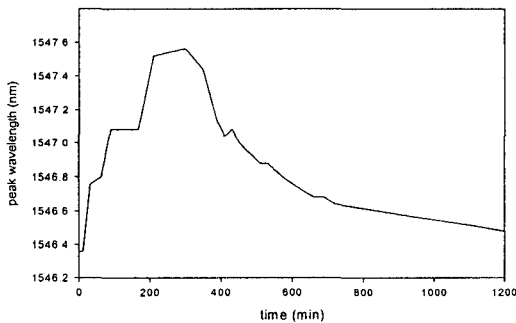


그림. 4 FBG 센서의 시간에 따른 파장 변화

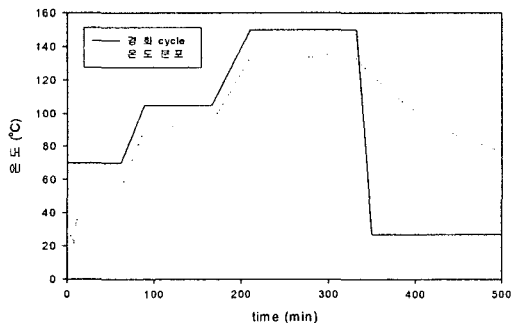


그림. 5 FBG 센서의 경화 시 온도 분포

그림. 2에서 그림. 3의 결과를 공제하면 순수한 폐놀 수지의 냉각 시 열 수축에 의한 영향을 확인할 수 있으며, 파장의 차이로만 볼 때 약 2nm 정도의 차이를 확인할 수 있었다.

### 3.2 PAN계/Rayon계 탄소 직물 복합재료의 경화 모니터링

연속사 형태의 PAN계/Rayon계 탄소 직물 복합재료의 경화 시 FBG 센서의 시간에 따른 파장 변화와 위치에 따른 온도 분포를 그림. 6, 7, 8에 나타내었다.

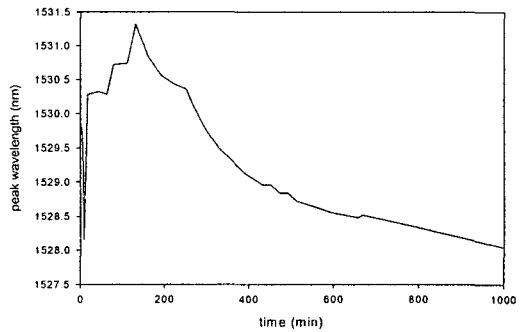


그림. 6 Rayon계 탄소 직물 복합재료의 시간에 따른 파장 변화

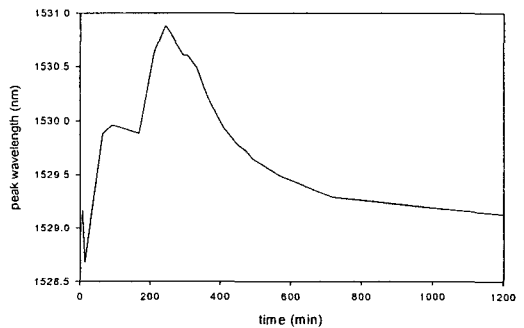


그림. 7 PAN계 탄소 직물 복합재료의 시간에 따른 파장 변화

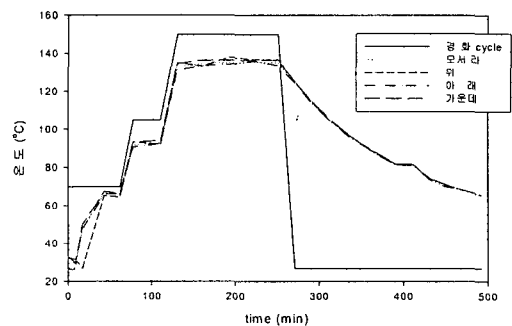


그림. 8 Rayon계 탄소 직물 복합재료의 경화 시 위치별 온도 분포

그림. 6, 7에서 경화 온도가 올라감에 따라 시편내에 삽입된 FBG 센서의 반사 spectrum 또한 장파장 쪽으로 이동함을 알 수 있다. 또한, 냉각 시에는 단파장 쪽으로 이동함을 알 수가 있으나 페놀 수지만을 사용하여 실험한 결과만큼 큰 수축 정도를 보이지는 않는다.

이는 상대적으로 변형에 대한 저항력이 월등한 탄소섬유가 경화시 페놀 수지에 의한 수축력을 분담하게 되어 수축을 저지하기 때문이다. 경화시 온도 분포에 있어서는 PAN계/Rayon계 탄소 직물 복합재료 모두 8장의 layer만을 사용하여 위치에 따른 온도 분포 차이가 크지 않았다.

#### 4. 결 론

전구체의 종류에 따라 PAN계/Rayon계, 직물의 형태에 따라 방적사 및 연속사 직물을 사용하여 복합재료를 제조하였고, FBG 센서와 thermal couple을 이용하여 경화 cycle을 모니터링 하였다. FBG 센서의 온도 의존성과 페놀 수지만을 사용한 경화 모니터링에서 온도의 변화에 따른 FBG 센서의 반사 spectrum 변화를 관찰할 수 있었고, 냉각 시, 경화된 페놀 기지재의 열 수축에 의한 추가적인 파장의 변화가 발생됨을 확인할 수 있었다. 시편내의 온도 분포에 있어서는 적층 수가 많지 않았기 때문에 위치별 온도 분포에 큰 차이점을 발견할 수 없었다.

#### 후 기

본 연구는 2000년 과학기술부 지정 국가지정연구실 사업의 과제 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) 신승준, "방적사 탄소 직물/연속사 탄소 직물 하이브리드 복합재료의 역학적 특성 및 열적 특성에 관한 연구", 서울대학교, 석사학위 논문, 2003
- (2) Woo Il Lee, George S. Springer, "A model of

the manufacturing process of thermoplastic matrix composites", *Journal of Composite Materials*, 21, 1077~1052(1987)

- (3) Travis A. Bogetti, John W. Gillespie, JR., "Process-Induced stress and deformation in thick-section thermoset composite laminates", *Journal of Composite Materials*, 26, 626~659(1992)
- (4) Ajith K. Gopal, Sarp Adali, Viktor E. Verijenko, "Optimal temperature profiles for minimum residual stress in the cure process of polymer composites", *Composite Structures*, 48, 99~106(2000)
- (5) W. Du, X.M. Tao, H.Y. Tam, C.L. Choy, "Fundamentals and applications of optical fiber Bragg grating sensors to textile structural composite", *Composite Structures*, 42, 217~229(1998)
- (6) V.M. Murukeshan, P.Y. Chan, L.S. Ong, L.K. Seah, "Cure monitoring of smart composites using Fiber Bragg Grating based embedded sensors", *Sensors and Actuators*, 79, 153~161(2000)
- (7) Yoji Okabe, Shigeki Yashiro, Ryohei Tsuji, Tadahito Mizutani and Nabuo Takeda, "Effect of thermal residual stress on the reflection spectrum from fiber Bragg grating sensors embedded in CFRP laminates", *Composite Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33, 991~999(2002)