

# 탄소섬유 필라멘트 와인딩 방법에 따른 하이브리드 샤프트의 진동특성 연구

The study of Vibration characteristics of a aluminum/composite hybrid shaft according to the change in carbon fiber filament winding method

유칭환\*이재완\*홍동표†  
Chung-Hwan Yu, Jae-Wan Lee and Dong-Pyo Hong

## 1. 서론

탄소섬유 복합재료와 알루미늄 샤프트를 이용하여 구동축을 제조하면 탄소섬유가 가지는 높은 진동특성으로 인하여 기존의 2단 구조의 구동축을 1단의 일체형 구조로 제작이 가능하다. 이에 2단 구조의 가운데 연결부위의 부품들 제거와 하이브리드 재질 자체의 낮은 중량으로 인하여 차량의 중량을 저감시켜 결과적으로 자동차의 연비 향상에 큰 영향을 줄 수 있다.

본 연구에서는 하이브리드 일체형 구동축을 제작하기 위한 기초연구로서 T-700 탄소섬유를 A6061-T6 알루미늄 샤프트 외부에 필라멘트 와인딩 기법을 이용하여 하이브리드 샤프트를 제조하여 탄소섬유 복합재료의 적층각도 및 적층수에 따른 하이브리드 샤프트의 진동특성 변화에 대하여 비교 연구를 수행하였다.

## 2. 탄소섬유/알루미늄 하이브리드 샤프트 제조

하이브리드 샤프트는 탄소섬유 복합재료의 적층각도에 따라 샤프트의 특성이 변화하는데 복합재료 섬유 적층각도에 따른 탄성계수는 다음과 같다.

$$E_x = \left[ \frac{1}{E_1} \cos^4 \theta + \left( \frac{1}{G_{12}} - \frac{2\nu_{12}}{E_1} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \frac{1}{E_1} \sin^4 \theta \right]^{-1} \quad (1)$$

$$E_x = \left[ \frac{1}{E_1} \sin^4 \theta + \left( \frac{1}{G_{12}} - \frac{2\nu_{12}}{E_1} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \frac{1}{E_1} \cos^4 \theta \right]^{-1} \quad (2)$$

여기서 구동축은 1차 굽힘 고유진동수가 중요하기 때문에 hoop 방향 탄성계수는 배제하기로 한다.

탄소섬유 복합재료는 T-700, 알루미늄은 A6061-T6를 사용하였다. 하이브리드 샤프트를 제조하기 위하여 필라멘트

와인딩 기법을 이용하여 A6061-T6 외부 표면에 T-700을 감아 제조하였다. 먼저 적층각도에 따른 진동특성을 알아보기 위하여 축방향을 기준으로 15°, 30°, 45°로 적층각도를 달리하여 3번 적층하였다. 다음으로 탄소섬유 적층수에 따른 하이브리드 샤프트의 진동특성을 알아보기 위하여 30°를 기준으로 2겹, 3겹, 4겹으로 적층수를 달리하여 제조하였다.

제조된 시험편의 제원은 다음 Table.1 과 같으며 Fig.1.에서 보여진다.



Fig. 1 1.75m Hybrid shaft specimen

Table.1 Specification of hybrid-shaft specimen

Specification	A6061-T6	Number of layers	Angle of layers
Hybrid Shaft-1	60*5*1750	2	15
Hybrid Shaft-2		3	15
Hybrid Shaft-3		4	15
Hybrid Shaft-4		3	15
Hybrid Shaft-5		3	30
Hybrid Shaft-6		3	45

제조된 6개의 하이브리드 시험편을 가지고 진동실험 및 ANSYS를 이용한 유한요소해석을 통하여 하이브리드 샤프트의 제조 시 진동특성을 향상시키는 주요 요인에 대하여 알아보려고 한다.

† 교신저자; 전북대학교 정밀기계공학과  
E-mail : hongdp@chonbuk.ac.kr  
Tel : (063) 270-2374, Fax : (063) 270-2374

\* 전북대학교 정밀기계공학과

### 3. 1차 굽힘 고유진동수 실험 및 해석

#### 3.1 진동 특성 실험

하이브리드 샤프트 시험편의 진동특성을 파악하기 위하여 진동실험을 실시하여 1차 굽힘 고유진동수를 알아보았으며 실험장치 구성은 다음Fig. 2와 같다.



Fig. 2 FRF test of hybrid shaft

하이브리드 샤프트의 조건은 free-free 상태로 가정하였으며 가속도계를 시험편위에 붙이고 충격 망치로 가진시켜 발생하는 가속도 신호를 01dB FFT Analyzer로 분석하여 각각의 시험편의 1차 굽힘 고유진동수를 알아보았다. 실험결과는 다음Fig. 3과 같다.

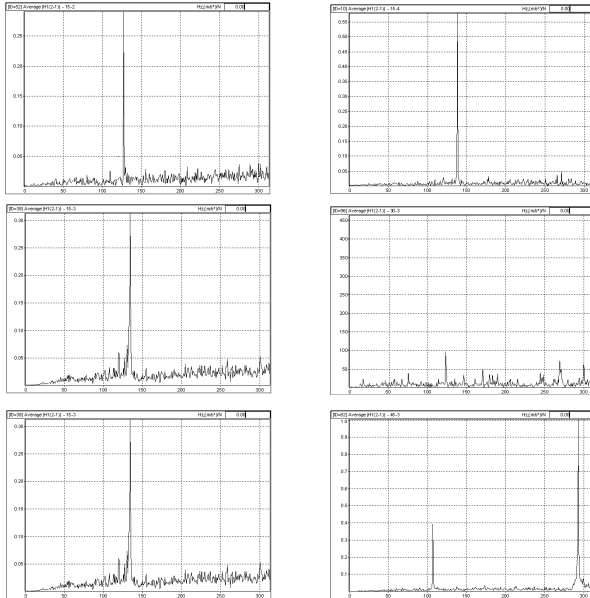


Fig. 3 FRF results of shaft-1~shaft-6

#### 3.2 유한요소해석

하이브리드 샤프트 시험편의 진동실험을 검증하기 위하여 유한요소 해석프로그램 ANSYS를 이용하여 각각의 시험편들의 1차 굽힘 고유진동수를 해석하였다. 유한요소해석에 필요한 하이브

리드 샤프트의 등가밀도는 다음의 식을 이용하여 구하였으며 등가 탄성계수는 진동실험을 통하여 구하였다.

$$\rho_{eq} = \frac{(\rho A)_{al} + (\rho A)_{carbon}}{A_{al} + A_{carbon}} \quad (3)$$

하이브리드 샤프트의 1차 굽힘 고유진동수 실험 및 유한요소해석 결과는 다음과 같다.

Table 2 FRF and FEA results of Shaft-1~shaft-3

Specification	Hybrid Shaft-1	Hybrid Shaft-2	Hybrid Shaft-3
FRF Test	127.3Hz	134Hz	138Hz
FEA	126.5Hz	133Hz	137.5Hz

Table 3 FRF and FEA results of Shaft-4~shaft-6

Specification	Hybrid Shaft-4	Hybrid Shaft-5	Hybrid Shaft-6
FRF Test	134Hz	123Hz	109Hz
FEA	133Hz	123.2Hz	107Hz

## 4. 결 론

본 연구에서는 탄소섬유 복합재료의 필라멘트 와인딩 기법을 이용한 하이브리드 샤프트의 진동특성을 높여 주기위한 주요인자를 찾기위한 실험 및 해석을 수행한 결과 1차 굽힘 고유진동수는 한접씩 증가할 때 마다 3~5% 증가 되었고, 적층각도가 15°에서 30°, 45°로 증가함에 따라서 1차 굽힘 고유진동수는 9%~12%로 감소함을 알 수 있다. 이로써 하이브리드 샤프트의 진동특성은 와인딩 각도는 축 방향 기준으로 0°에 가깝게, 적층수는 증가시킬수록 높아짐을 알 수 있으며 이러한 특성을 이용하면 일체형 구동축을 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 (재)전북테크노파크가 지원하고 있는 지방기술혁신사업인 “승용차용 탄소강화 MMC응용 Propeller-shaft 개발” 사업으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.