

하이브리드 샤프트 제원 변화에 따른 진동특성 비교

A comparison of vibration characteristics for the change in parameter of the hybrid shaft

홍용* 김현식* 유청환**홍동표†

Yong Hong, Hyun-Sik Kim, Chung-Hwan Yu and Dong-Pyo Hong

1. 서 론

기존의 후륜구동자동차의 프로펠러샤프트를 가볍고 높은 피로특성과 진동특성이 우수한 탄소섬유 복합재료를 사용하여 제작하면 5kg대의 저중량을 실현시킬 수 있으며 탄소섬유 복합재료의 높은 고유진동수 특성에 의하여 1단의 일체형 구조로 만들 수가 있어 결과적으로 자동차의 연비를 향상시킬 수 있다. 여기서 프로펠러샤프트의 요구조건인 비틀림토크와 1차 굽힘 고유진동수를 만족시키기 위하여 알루미늄 금속과 복합재료와의 결합을 통한 하이브리드 재질의 프로펠러샤프트 제작이 필요하며 본 연구에서는 알루미늄 샤프트 제원 변화와 탄소섬유 복합재료의 적층수에 따른 알루미늄과 탄소섬유 복합재료의 하이브리드 샤프트를 제작하고 하이브리드 샤프트의 진동특성 변화에 대하여 비교 연구를 수행하였다.

2. 하이브리드 샤프트 제조

하이브리드 샤프트에서 진동특성을 높여주는 주요 인자를 알아내기 위하여 총 6개의 1.25m의 하이브리드 시편을 제작하였으며 Fig. 1과 같다.



Fig. 1 1.25m Hybrid shaft specimen

제조된 하이브리드 시편들의 제원은 Table 1과 같으며 탄소섬유 복합재료는 URN300, 유리섬유 복합재료는 UGN150, 알루미늄은 A6061-T6를 사용하였다.

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

전북대학교 기계시스템공학과

** 전북대학교 기계시스템공학과

Table. 1 Specifications of 1245mm hybrid-shaft

Specification	A6061-T6	UGN150	URN300
Hybrid Shaft-1	50*2t	0.122mm 1layer	0.265mm 2layer
Hybrid Shaft-2	50*5t	0.122mm 1layer	0.265mm 2layer
Hybrid Shaft-3	60*5t	0.122mm 1layer	0.265mm 2layer
Hybrid Shaft-4	60*5t	0.122mm 1layer	0.265mm 1layer
Hybrid Shaft-5	60*5t	0.122mm 1layer	0.53mm 2layer
Hybrid Shaft-6	60*5t	0.122mm 1layer	0.795mm 3layer

복합재료 섬유층의 축방향 적층각도에 따른 탄성계수는 다음 식과 같다.

$$E_x = \left[\frac{1}{E_1} \cos^4 \theta + \left(\frac{1}{G_{12}} - \frac{2\nu_{12}}{E_1} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \frac{1}{E_2} \sin^4 \theta \right]^{-1} \quad (1)$$

하이브리드 샤프트의 높은 굽힘 고유진동수를 가지게 하기 위하여 축방향을 기준으로 0도로 적층하였으며 진공백 성형 후 고온/고압의 오토클레이브를 이용하여 하이브리드 샤프트를 제조하였다.

이렇게 제조된 6개의 하이브리드 샤프트 시편을 가지고 진동실험 및 유한요소해석을 통한 하이브리드 샤프트의 진동특성을 향상시키는 주요 인자에 대하여 알아보려고 한다.

3. 샤프트 고유진동 실험 및 해석

3.1 진동실험

시편들의 진동특성을 파악하기 위하여 진동실험을 실시하여 1차 굽힘 고유진동수를 알아보았으며 실험 구성은 다음 Fig. 2와 같다.



Fig. 2 FRF test of hybrid shaft

하이브리드 샤프트의 지지조건을 free-free상태로 만들기 위하여 그림과 같은 지그를 제작하여 장착 후 충격해머로 가진 시켜 FFT Analyzer로 분석하였다. 실험결과는 다음 Fig. 3과 같다.

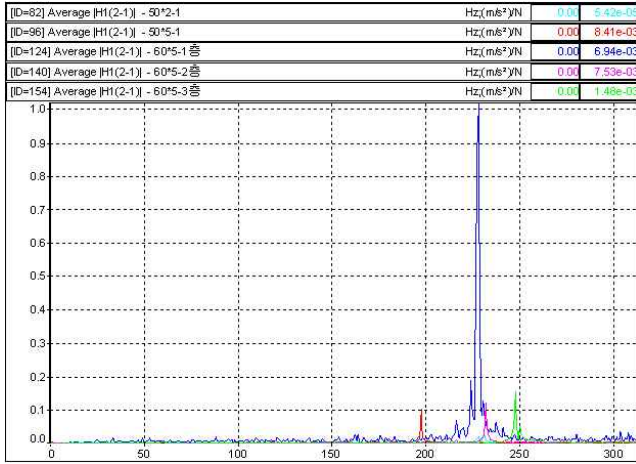


Fig. 3 FRF result (shaft-1~shaft-6)

3.2 유한요소 해석

시험편들의 진동실험을 검증하기 위하여 유한요소해석프로그램인 ANSYS를 사용하여 각각의 시험편들의 1차 굽힘 고유진동수를 해석하였다.

유한요소해석에 필요한 하이브리드 샤프트의 등가 밀도는 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$\rho_{eq} = \frac{(\rho A)_{al} + (\rho A)_{carbon} + (\rho A)_{glass}}{A_{al} + A_{carbon} + A_{glass}} \quad (2)$$

Fig. 4 는 하이브리드 샤프트 유한요소 해석 결과를 보여 주고 있다.

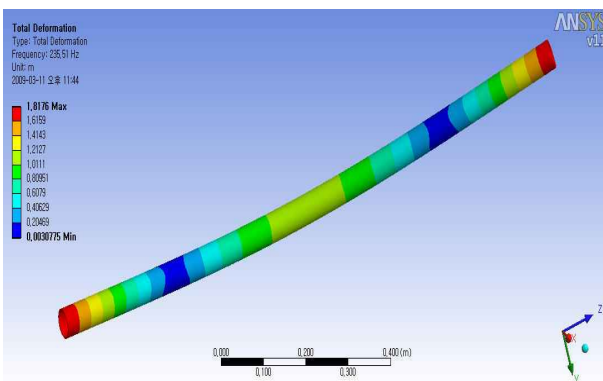


Fig. 4 FEA result of hybrid shaft using ANSYS

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

Table 2 FRF test results of Shaft-1~shaft-3

Specification	Hybrid Shaft-1	Hybrid Shaft-2	Hybrid Shaft-3
FFT Test	235Hz	198Hz	239Hz

Table 3 FRF test results of Shaft-4~shaft-6

Specification	Hybrid Shaft-4	Hybrid Shaft-5	Hybrid Shaft-6
FFT Test	228Hz	239Hz	249Hz

Table 4 FEA results of Shaft-1~shaft-3

Specification	Hybrid Shaft-1	Hybrid Shaft-2	Hybrid Shaft-3
FEA	235Hz	200Hz	239Hz

Table 5 FEA results of Shaft-4~shaft-6

Specification	Hybrid Shaft-4	Hybrid Shaft-5	Hybrid Shaft-6
FEA	232Hz	239Hz	253Hz

4. 결 론

본 연구에서 하이브리드 샤프트에서 진동특성을 높여주는 주요 인자를 찾기 위한 실험 및 해석을 통하여 살펴본 결과 1차 굽힘 고유진동수는 알루미늄 두께가 2mm에서 5mm로 증가함에 따라 15.5%정도 감소, 외경이 10mm 증가함에 따라 19.7% 정도 증가되었다.

또한 탄소섬유 복합재료는 한 겹씩 증가할 때마다 즉, 두께가 0.265mm씩 증가할 때마다 4~5%정도 증가되었다.

이로써 하이브리드 프로펠러샤프트 제조 시 1차 굽힘 고유진동수를 증가시키는 주요인자로는 매우 얇은 두께로도 샤프트의 진동특성을 높여주는 탄소섬유 복합재료임을 알 수 있다.

또한 이러한 진동특성이 높은 탄소섬유 복합재료를 이용하면 샤프트의 길이가 1.25m에 국한되지 않고 길이가 증가하여도 1차 굽힘 고유진동수를 만족시킬 수 있을 것으로 예상되며 실제 차량에 적용시킬 프로펠러샤프트를 제조할 수 있을 것이다.

후 기

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