

복합재료 회전축의 안정성 및 진동특성 연구

Vibration and Stability Analysis of Composite Shaft

송오섭† · 서정석* · 박상윤** · 강성환** · 함지웅**

Jeongsuk Seo, Ohseop Song, Sangyun Park, Sunghwan Kang and Jiwong Ham

1. 서 론

길이방향 축을 중심으로 회전하는 회전축 시스템은 항공 추진 시스템과 가스 터빈, 터보발전기, 생산라인과 같은 산업기계의 동력전달장치 등에 사용된다. 그 외에 보링과 드릴링에 사용되는 절삭공구도 회전축 시스템과 비슷한 형상을 가지고 있다.

이러한 회전축의 진동특성을 향상시키고, 장비의 정상작동에 위험이 되는 불안정성을 제거하거나 지연시키고, 그 중량을 줄이기 위하여 복합재료 회전축의 사용이 연구되어져 왔다. 복합재료는 금속재료와 비교하여 비강도 및 비강성이 높고 섬유각 및 적층방법의 선택에 의한 구조적 tailoring을 통하여 최적의 회전축 설계가 가능한 장점을 가지고 있다.

회전축은 보존 시스템(conservative system)이지만 자이로스코프 힘에 의하여 비 보존력 시스템처럼 거동할 수 있으며, 이 때문에 어떤 조건하에서는 정적/동적불안정이 발생할 수 있다.

본연구에서는 기존에 연구되었던 복합재료 원통형 보의 수치해석적 결과와 유한요소를 이용한 결과값 비교에 초점을 두었고, 더 나아가 유한요소해석을 이용하여 복합재료 원통형 보의 정적 및 동적특성을 파악하고 Cambel Diagram 을이용하여 위험구간에 대해 논의 하였다.

본 연구에서 고려된 회전축은 Fig. 1 과 같이 유연한 중공 원형단면 보로 모델링하였으며, 축방향인 z축을 중심으로 회전속도가 Ω 로 일정하게 회전하고 있다.

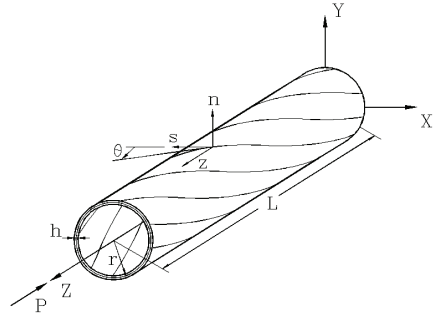


Fig. 1 Geometry of composite thin-walled beam of circular cross-section

2. 지배방정식

2.1 변위장

회전축 내부의 변위변수의 함수로 표시된 변위벡터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} u(x,y,z;t) &= u_0(z;t) - y(s)\phi(z;t), \\ v(x,y,z;t) &= v_0(z;t) + x(s)\phi(z;t), \\ w(x,y,z;t) &= w_0(z;t) + \theta_x(z;t)[y(s) - n\frac{dx}{ds}] \\ &\quad + \theta_y(z;t)[x(s) + n\frac{dy}{ds}] - \phi'(z;t)[F_w(s) + na(s)] \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 운동방정식과 경계조건

1)해밀턴 변분원리

$$\begin{aligned} \delta J = \int_{t_0}^{t_1} [\int_{\tau} \sigma_{ij} \delta \epsilon_{ij} d\tau - \delta K - \int_{\Omega_\tau} s_i \delta v_i d\Omega \\ - \int_{\tau} \rho H_i \delta v_i d\tau] dt = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{where } K = \frac{1}{2} \int_{\tau} \rho (\dot{R} \cdot \dot{R}) d\tau$$

† 교신저자; 정회원, 충남대학교

E-mail : songos@cnu.ac.kr

Tel : (042)821-5650, Fax : 042-822-5642

* 충남대학교

2) 운동방정식과 경계조건

① 원형보의 중방향 및 횡방향연성운동

$$\begin{aligned} \delta u_0 &: a_{43}\theta_x'' + a_{44}(u_0'' + \theta_y') & (3) \\ &= b_1u_0 - 2b_1\Omega v_0 - b_1u_0\Omega^2 \\ \delta v_0 &: a_{52}\theta_y'' + a_{55}(v_0'' + \theta_x') \\ &= b_1v_0 + 2b_1\Omega u_0 - b_1v_0\Omega^2 \\ \delta \theta_y &: a_{22}\theta_y'' + a_{25}(v_0'' + \theta_x') - a_{44}(u_0' + \theta_y) \\ &\quad - a_{43}\theta_x' = (b_5 + b_{15})\theta_y \\ \delta \theta_x &: a_{33}\theta_x'' + a_{34}(u_0'' + \theta_y') - a_{55}(v_0' + \theta_x) \\ &\quad - a_{52}\theta_y' = (b_4 + b_{14})\theta_x \end{aligned}$$

at z=0; $u_0 = v_0 = \theta_x = \theta_y = 0$ (4a)

at z=L; $a_{43}\theta_x' + a_{44}(u_0' + \theta_y) = 0$ (4b)
 $a_{52}\theta_y' + a_{55}(v_0' + \theta_x) = 0$
 $a_{22}\theta_y' + a_{25}(v_0' + \theta_x) = 0$
 $a_{33}\theta_x' + a_{34}(u_0' + \theta_y) = 0$

② 축방향 및 비틀림연성운동

$$\begin{aligned} \delta w_0 &: a_{11}w_0'' + a_{17}\phi'' - b_1\ddot{w}_0 = 0 & (5) \\ \delta \phi &: -a_{66}\phi'''' + a_{17}w_0'' + a_{77}\phi'' - (b_4 + b_5)\ddot{\phi} \\ &\quad + (b_{10} + b_{18})\ddot{\phi}'' + (b_4 + b_5)\Omega^2\phi = 0 \end{aligned}$$

at z=0; $w_0 = \phi = 0$ (5a)

at z=L; $a_{11}w_0' + a_{17}\phi' = 0$ (5b)
 $-a_{66}\phi'''' + a_{17}w_0' + a_{77}\phi' + (b_{10} + b_{18})\phi'' = 0$
 $-a_{66}\phi'' = 0$

4) 고유치 문제

$$\delta B^T [-\omega^2 M_N + i\omega G_N + K_N] B = 0 \quad (6)$$

$$B^T = [a_1, a_2, \dots, a_N, b_1, b_2, \dots, b_N, c_1, c_2, \dots, c_N, d_1, d_2, \dots, d_N]$$

특성방정식

$$\Delta_N(\omega) = \det[-\omega^2 M_N + i\omega G_N + K_N] = 0 \quad (7)$$

5) 불안정 조건

정적불안정 조건은 $\Delta_N(P, \Omega^2) = 0$ 이며 동적 불안정 조건은 두 개의 고유진동수가 일치

되는 압축하중과 회전속도의 조합에서 발생한다.

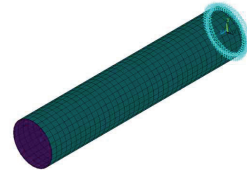
3. 수치해석

본 수치해석에서 사용된 Graphite/Epoxy의 물성치와 회전축의 치수는 다음과 같다.

Table 1 Material Property

	USCS	SI
E_1	30×10^6 psi	20.68×10^{10} N/m ²
$E_2 = E_3$	0.75×10^6 psi	5.17×10^9 N/m ²
G_{12}	0.45×10^6 psi	3.10×10^9 N/m ²
$G_{23} = G_{13}$	0.37×10^6 psi	2.55×10^9 N/m ²
$v_{21} = v_{31}$	0.00625	0.00625
v_{32}	0.25	0.25
ρ	0.000143 lbs ² /in ⁴	1528.15 kg/m ³
r	3.9370 in	0.1m
L	39.37008 in	1m
h	0.39370 in	0.01m

4. 유한요소모델링



복합재료로 원통관으로 구성되어있으며 복합재 적층 설계 정보를 반영하기 위하여 유한요소 모델에서 ANSYS shell281 요소를 통하여 적층 모델링 하였다. 요소의 개수는 1120개이다.

4. 결 론

본 연구에서는 수치해석과 유한요소해석법을 이용하여 자이로스코프 힘, 섬유각, 적층방법에 따른 정적 불안정과 동적불안정에 미치는영향에대하여 연구하였다.

후 기

본 연구는 2012 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임