

5000 마력급 압축기 회전축계의 진동 연구

Vibration and Instability of Spinning 5000HP Compressor Shaft

서 정 석* · 강 성 환** · 함 지 응*** · 박 상 윤*** · 송 오 섭†

Author name, Author name and Author name

1. 서 론

에너지의 발생 및 변환에 사용되는 터보기계류에 대한 현재의 발전추세는 신소재의 개발 및 신가공 기술의 사용과 운전속도의 고속화를 통하여 기계의 소형화 및 고성능화를 추구하고 있다. 회전기계가 고속화함에 따라 기계의 운전속도가 임계속도 (critical speed) 구간을 통과하여 운전되는 경우가 있고 이에 따라서 회전축의 소음·진동 문제가 더욱 중요한 고려대상이 되었다. 증기 터빈이나 압축기, 발전기 등과 같은 회전기계가 고유 진동수 부근에 작동된다면 공진현상으로 인한 과도한 응력이 발생하게 되고 이로 인해 기계의 효율저하 및 소음과 진동이 발생할 수가 있고 기계의 피로파괴의 가능성이 높아질 뿐만 아니라 기계의 고장으로 이어질 수 있다. 그러므로 사전에 회전기계의 진동을 해석 및 예측하여 운전속도 설정 시 임계속도나 불안정 영역을 피할 수 있게 하는 해석기술이 필요하게 되었다.

본연구에서는 축의 불균일 단면과 양 끝단의 임펠러 형상을 갖는 복잡한 축계의 진동 해석을 진행함에 있어, TMM을 보완할 수 있는 방법으로 축계 모델을 Timoshenko 보 이론을 사용하여 터보압축기의 수치해석 모델을 정립하였다. 축계의 축 방향으로 단면의 크기를 축방향 함수로 표현하였고, 양끝의 복잡한 임펠러 형상 또한 집중질량으로 Timoshenko 보이론에 적용하여 연구를 수행하였다.

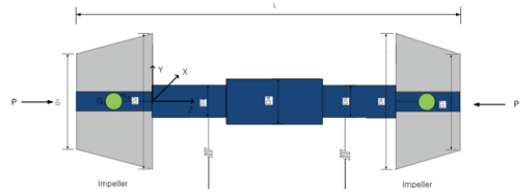


Fig.1 Configuration non-uniform shaft

2. 지배방정식

2.1 변위장

회전축 내부의 한 점의 변위장은 다음과 같다.

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

2.2 운동방정식과 경계조건

1) 해밀턴 변분원리

다음의 해밀턴 변분원리를 이용하여 Timoshenko 보의 운동방정식과 경계조건을 유도한다.

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

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

여기에서 δU 와 δK 는 각각 변형에너지와 운동에너지의 변분이다.

(1) Strain Energy

$$U = \frac{1}{2} \int_{\tau} \sigma_{ij} \epsilon_{ij} d\tau \quad (3)$$

† 교신저자; 정회원, 충남대학교
E-mail : songos@cnu.ac.kr
Tel : 101-3200-1979, Fax : 042-822-5642

* 충남대학교

$$= \int_0^L \int_C N_{zz} \epsilon_{zz}^0 + L_{zz} \epsilon_{zz}^n + N_{sz} \gamma_{sz}^0 + N_{sz} 2 \frac{A_c}{\beta} \phi' + N_{nz} \gamma_{nz} ds dz$$

(2) Kinetic Energy

$$K = \frac{1}{2} \int_{\tau} \rho \frac{\partial \vec{R}}{\partial t} \cdot \frac{\partial \vec{R}}{\partial t} d\tau \quad (4)$$

다음 Strain Energy 와 Kinetic Energy를 해밀턴 변분 원리식에 대입하여 정리하여 다음과 같은 운동 방정식과 경계조건을 구할수 있다.

2) 운동방정식과 경계조건

$$\begin{aligned} \delta u_0 : [kGA(z)(u_0' + \theta_y)]' - Pu_0'' &= m(z)\ddot{u}_0 - 2m(z)\Omega\dot{v}_0 - m(z)u_0\Omega^2 \\ \delta v_0 : [kGA(z)(v_0' + \theta_x)]' - Pv_0'' &= m(z)\ddot{v}_0 + 2m(z)\Omega\dot{u}_0 - m(z)v_0\Omega^2 \\ \delta \theta_y : [EI(z)\theta_y']' - kGA(z)(u_0' + \theta_y) &= J(z)\ddot{\theta}_y \\ \delta \theta_x : [EI(z)\theta_x']' - kGA(z)(v_0' + \theta_x) &= J(z)\ddot{\theta}_x \end{aligned} \quad (5)$$

F-F 에서의 경계조건

$$\begin{aligned} \text{at } z=0 \quad kGA(u_0' + \theta_y) - Pu_0' &= 0 \\ kGA(v_0' + \theta_x) - Pv_0' &= 0 \\ EI\theta_x' &= 0 \\ EI\theta_y' &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{at } z=L \quad kGA(u_0' + \theta_y) - Pu_0' &= 0 \\ kGA(v_0' + \theta_x) - Pv_0' &= 0 \\ EI\theta_x' &= 0 \\ EI\theta_y' &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

3. 고유치 문제

$$\begin{aligned} \delta \mathbf{B}^T [-\omega^2 \mathbf{M}_N + i\omega \mathbf{G}_N + \mathbf{K}_N] \mathbf{B} &= 0 \\ \mathbf{B}^T &= [a_1, a_2, \dots, a_N, b_1, b_2, \dots, b_N, c_1, c_2, \dots, c_N, d_1, d_2, \dots, d_N] \\ \text{특성방정식} & \\ \Delta_N(\omega) = \det[-\omega^2 \mathbf{M}_N + i\omega \mathbf{G}_N + \mathbf{K}_N] &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

여기에서 [M]과 [K]는 실수대칭행렬(real symmetric matrix)이며, 행렬 [G]는 실수역대칭행렬(real skew symmetric matrix)이다.

위의 고유치문제는 다음과 같이 풀 수 있다.

$$\begin{aligned} [Z] - \lambda [I] &= 0 \\ [Z] &= \begin{bmatrix} [0] & [I] \\ -[M]^{-1}[K] & -[M]^{-1}[G] \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

여기에서 행렬의 고유값을 구하면, 항상 n쌍의 순수 복수쌍(pure imaginary complex conjugate)으로 구성되며, 고유벡터 또한 n쌍의 복소쌍으로 이루어진다.

4. 유한요소해석

4.1 해석모델

이 연구의 해석에 사용된 모델은 다음과 같다.

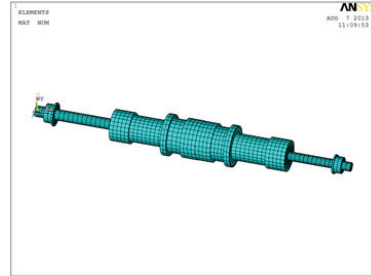


Fig.2 Interpretation Ansys Model

Table 1 Number of interpretation Ansys Model

Tool(Ansys)	Cylindricity Composite
Element type	Solid 272
Element	431
Node	4703

3. 결 론

본 연구에서는 5000마력급 회전축계를 Timoshenko 보이론을 사용하여 운동방정식을 구하고 불균일하고 다단이진 회전축을 Unistep Fuction을 사용하여 표현하였다. 다음의 수치해석결과와 Ansys 유한요소해석을 이용하여 구한 결과값을 비교하여 회전축계의 진동 특성에대하여 연구하였다.

후 기

본 연구는 2013 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임