

# 외부댐핑이 구름베어링-회전축계의 진동특성에 미치는 영향

장 달 식 · 윤 석 철 · 한 동 철  
( 서울대학교 기계설계학과 )

## I. 서론

회전축계가 위험한 공진 또는 불안한 상태를 나타내지 않고 조용하고 안정된 운전상태를 유지하려는 목적은 축의 휨강성, 몸체형상, 베어링의 크기 및 형상과 같은 설계변수를 최적화하는 것으로 이루어질 수 없는 경우가 빈번하다. 이런 경우에는 베어링 외부에 작용하는 "외부댐핑"을 이용하여 진동문제를 근본적으로 개선할 수 있다. 이를 위하여 베어링 외부에 별도로 설계한 스프링과 댐퍼를 설치한다.

본 연구에서는 윤활이론에 따라 명확히 계산되고 그 신빙성이 실험적으로 검증된 "동압유막 댐퍼"의 감쇄계수를 이용하여 외부댐핑을 갖는 회전축-구름베어링계와 회전축-저어널 베어링계의 진동특성을 해석하고 회전축-구름베어링계의 실험적 모델을 제시하고자한다. 또한 해석결과와 실험을 토대로 회전축계의 진동특성에 미치는 특성수 및 설계변수를 명확히 도출하여 동특성을 고려한 회전축계의 최적 설계에 기여하고자 한다.

## II. 외부댐핑계를 갖는 회전축계의 운동방정식

회전축계의 관성 및 회전축 강성에 의한 복원력의 평형 방정식과 베어링과 회전축의 복원력에 대한 평형식 그리고 외부댐핑계의 운동방정식을 정리한 후,

$$\bar{X} = X/\rho, \bar{Y} = Y/\rho, (\dot{\phantom{x}}) = \partial(\phantom{x})/\partial t, (\phantom{x})' = \partial(\phantom{x})/\partial \omega t,$$

$$\omega_k^2 = c/m, M_b = 2mb/m, \bar{P} = 2P/(\rho c),$$

$$C_{ik} = 2c_{ik}/c, D_{ik} = 2\omega d_{ik}/c, E_{ik} = 2e_{ik}/c, G_{ik} = 2\omega g_{ik}/c$$

를 이용하여 무차원화하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{\omega}{\omega_k}\right)^2 \bar{x}_j'' + \left(\frac{\omega}{\omega_k}\right)^2 \bar{P}_{xj}'' + \bar{P}_{xj} = \left(\frac{\omega}{\omega_k}\right)^2 \cdot \sin \phi$$

$$\left(\frac{\omega}{\omega_k}\right)^2 \bar{y}_j'' + \left(\frac{\omega}{\omega_k}\right)^2 \bar{P}_{yj}'' + \bar{P}_{yj} = \left(\frac{\omega}{\omega_k}\right)^2 \cdot \cos \phi$$

$$M_b \left(\frac{\omega}{\omega_k}\right)^2 \bar{x}_b'' + G_{11} \bar{x}_b' + G_{12} \bar{y}_b' + E_{11} \bar{x}_b + E_{12} \bar{y}_b - \bar{P}_{xj} = 0$$

$$M_b \left(\frac{\omega}{\omega_k}\right)^2 \bar{y}_b'' + G_{21} \bar{x}_b' + G_{22} \bar{y}_b' + E_{21} \bar{x}_b + E_{22} \bar{y}_b - \bar{P}_{yj} = 0$$

$$\bar{P}_{xj} = D_{11} (\bar{x}_j' - \bar{x}_b') + D_{12} (\bar{y}_j' - \bar{y}_b') + C_{11} (\bar{x}_j - \bar{x}_b) + C_{12} (\bar{y}_j - \bar{y}_b)$$

$$\bar{P}_{yj} = D_{21} (\bar{x}_j' - \bar{x}_b') + D_{22} (\bar{y}_j' - \bar{y}_b') + C_{21} (\bar{x}_j - \bar{x}_b) + C_{22} (\bar{y}_j - \bar{y}_b)$$

불평형 여진에 의한 강제진동해석은 잇식의 해를

$$Z_i = Z_i e^{i\phi}, \quad Z = X_j, Y_j, X_b, Y_b \text{ 로 가정하여 풀어 위상각이 } \pi/2 \text{ 가 되는}$$

공진속도  $\omega_R/\omega_k$ 와 이때의 공진폭  $A_R/\rho$ 를 구한다. 자유진동해석은 잇식의 첫째,

둘째식의 오른쪽 항을 영으로 놓고 해를  $Z_i = z_i e^{\lambda\phi}, \lambda = -u/\omega + i \omega_e/\omega, Z_i =$

$X_j, Y_j, X_b, Y_b$  로 가정하여 회전각 속도비  $\omega/\omega_k$ 를 변화시키면서 고유치  $\lambda$ 을

구한것이다. 고유치  $\lambda$ 의 실수부분인  $u$ 는 시스템 댐핑, 즉 계의 외부충격에 대한

감쇄능력이며  $u < 0$  면 계가 불안정하게 되므로  $u=0$  가 될때의  $\omega/\omega_k$ 가 안정한계

속도이다.

### III. 해석 결과

Fig. 1 은  $C_{22}, E_{22}$  및  $GR\left[\frac{\omega_R g_{22}}{c/2}\right]$ 의 변화에 따라 불평형반경  $\rho$ 에 기준한

회전축의 공진폭  $A_R/\rho$  가 변하는 것을 보여준다. 이에 의하면 공진폭을 최소화시키는 외부댐핑계의 강성계수 및 감쇠계수의 상관관계가 존재하며 이것은 베어링 강성에 따라 변하고 또한 수평 및 수직강성비  $C_{11}/C_{22}$  에 따라 달라진다.

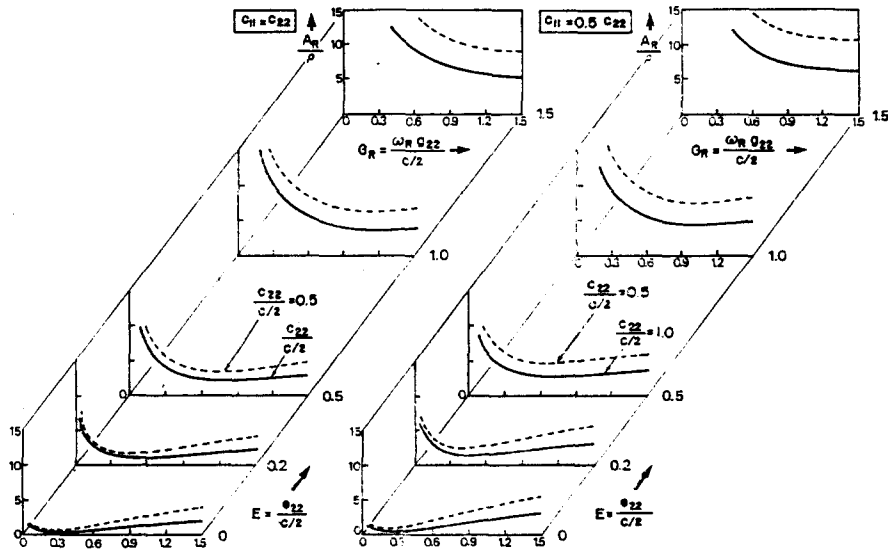


Fig. 1 Resonance amplitude of rotating shaft vs.  
Stiffness and damping ratio of external damping system

#### IV. 실험장치 제시

앞에서 설명한 결과를 근거로 하여 보울베어링에 외부댐핑을 부착한 모델을 설계하였다. 보울베어링 6209 를 사용했는데 강성  $C = 68351 \text{ N/mm}$ ,  $C_{22} = C_{22}/c/2 = 33$ , 댐퍼는 폭이 12mm 직경 110mm 인 것이 두개가 한쌍으로 사용되었다. 윤활유 점도는 30cp 이며  $G_R$  은 0.2 정도이다. 여기서 댐퍼에 편심을 주는 것과 실리콘오일을 사용하는 식의 점도증가를 통하여  $G_R$  을 상승시켜 공진폭을 낮출수 있다. 스프링으로 사용된 핀은 직경이 2mm 인것 4개를 쓰면,  $E_{22} = 2e_{22}/c = 2.2$

이다.  $C_{11}=0.7C_{22}$ 를 사용하였다. Fig. 2에서 E 값을 낮은 값으로 하지 않는 것은 응력적인 요인에 의한 것과 제작상 난이도에 의한 것이다. Fig. 3은 설계도 설명한 것이다.

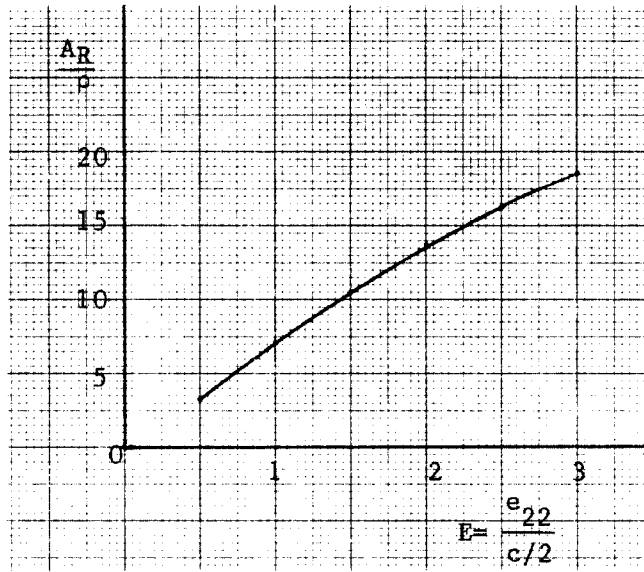


Fig. 2 Resonance amplitude of rotating shaft vs. Stiffness ratio of external damping system.

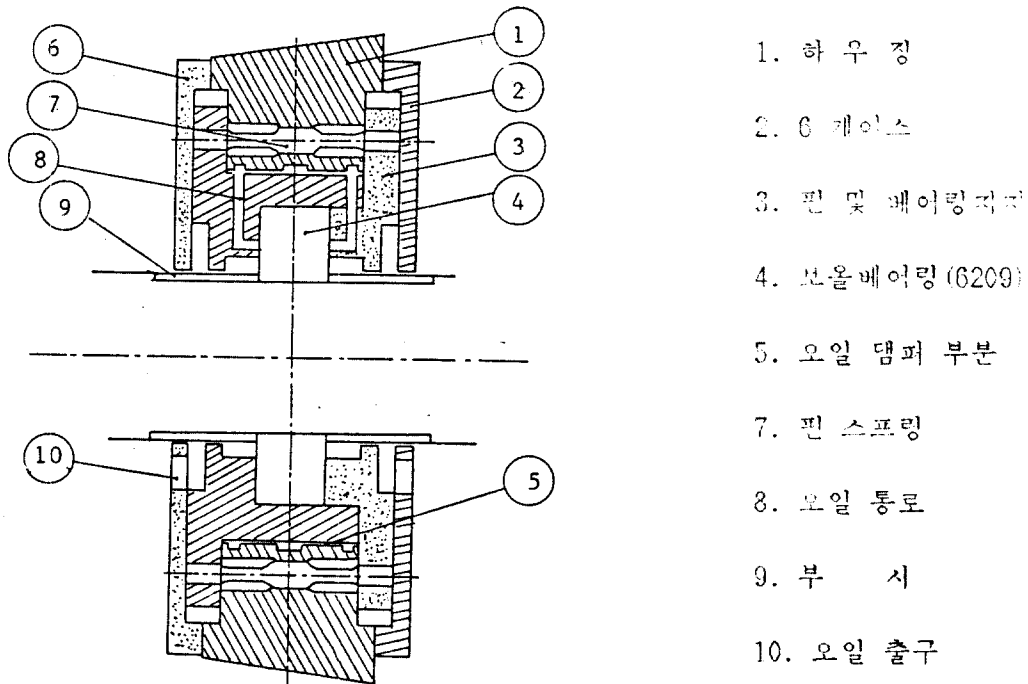


Fig. 3 Model of ball bearing-rotor system with external damping

## V. 결 론

베어링 외부를 스프링과 댐퍼로 지지하는 외부댐핑계를 포함하는 고속 회전계의 진동특성 해석을 수행하였다.

회전축계의 공진폭을 낮추거나 베어링의 안정한계속도를 높여 회전축을 고속 운전 할 수 있게 하는 최적의 외부댐핑계의 강성 및 감쇠계수가 존재하며 이것은 회전축계의 진동해석을 통하여 얻을 수 있음을 규명했다. 이에 근거한 보올베어링-회전축계를 설계 제작하여 모델로 제시하였다.

## VI. 참 고 문 헌

- (1) Someya, T. : Stabilität einer in zylindrischen Gleitlagern laufenden; unwuchtfreien Welle - Beitrag zur Theorie des instationär belasteten Gleitlagers. Diss. Techn. Hochschule Karlsruhe 1962
- (2) Glienicke, J. : Feder-und Dämpfungskonstanten von Gleitlagern für Turbomaschinen und deren Einfluß auf das Schwingungsverhalten eines einfachen Rotors. Diss. Techn. Hochschule Karlsruhe 1966
- (3) Hasselgruber, H. : Zur Berechnung der elastischen und dämpfenden Lagerung hochtouriger Wellen, Motortechnische Zeitschrift Bd.15 (1954) Nr.12, s. 373/376
- (4) Ehrich, F.F. und O'Connor, J.J. : Stator whirl with rotors in bearing clearance, Trans. ASME, J. Engrg, Ind. Vol.89 (1967) Nr. 3, S. 381/390.
- (5) Poznjak, E.L. : Die Dämpfung selbsterregter Schwingungen von Rotoren auf Gleitlagern, Übersetzung aus : Izvestija Akademii Nauk SSSR, Mechanika, Moskva (1965) Nr. 3, s. 68/76