

구름요소 베어링의 강성에 대한 데이터베이스 구축

송진대* · 김영찬* · 양보석** · 이수중**

1. 서 론

현재 구름요소 베어링이 쓰이고 있는 회전기계의 대부분이 고속, 고회력화를 요구하는 추세이고, 이와 병행하여 회전축계의 진동해석을 포함한 축계의 동적인 특성을 고려할 때 베어링의 여러 가지 성질 중 베어링 강성에 대한 평가가 필수라 할 것이다. 하지만 현재 베어링 강성평가에 대한 수치정보가 제작회사의 카탈로그나 핸드북에 명시되어 있지 않다. 또한 베어링 강성을 평가하는 이론식이 제안되어있지만^{(1),(2)}, 이 값들에 의한 베어링 강성에는 서로 차이를 보이고 있으며, 실험에 의해 얻은 강성값들과도 모두 차이를 보이고 있다^(4~7). 따라서 구름요소 베어링에 대한 강성값들을 실험에 근거한 데이터베이스의 구축이 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서 볼베어링 강성에 대한 실측데이터에 근거한 데이터베이스를 구축하는 소프트웨어를 개발하였다. 사용가능한 베어링으로는 펌프등의 상업계에 널리 사용되는 깊은홈 볼 베어링으로 6200 ~ 6215, 6300 ~ 6315 등의 32종류이며, 원통형롤러 베어링으로 NU208 ~ NU213 등 5종류이다.

2. 강성평가식

본 소프트웨어에는 구름요소베어링의 강성평가를 위해 두 개의 기존 이론식과 이를 실험데이터에 근거해서 수정된 두 개의 수정된 이론식, 그리고 실험데이터에 의한 베어링 호칭번호마다 각각의 실험식 등이 사용되었다. 사용된 이론 평가식들을 간략히 설명하면

다음과 같다.

베어링의 강성은 일반적으로 다음과 같이 정의된다.

$$k = \frac{dF_r}{d\delta} \quad (1)$$

여기서 F_r 은 반경방향 하중, δ 는 변위이다.

2.1 볼 베어링 (깊은 홈 볼 베어링)

2.1.1 Harris 식⁽¹⁾

반경방향의 하중만을 받는 경우, 틈새(clearance)를 고려하면, 레디얼 볼 베어링의 최대하중 Q_{max} 는 근사적으로

$$Q_{max} = \frac{5F_r}{Z \cos \alpha} \quad (2)$$

이다. 여기서 Z 는 볼 수, α 는 접촉각이다. 또, 고속이 아닌 경우, 깊은 홈 볼 베어링과 앵글러 콘택트 볼 베어링에 대해 반경방향 변형량 δ_r 은

$$\delta_r = 4.36 \times 10^{-8} \frac{Q_{max}^{2/3}}{D^{1/3} \cos \alpha} \quad (3)$$

이다. 식 (2)를 식 (3)에 대입하고 식 (1)의 강성의 정의로부터 베어링의 강성은

$$k = 1.176 \times 10^7 Z^{2/3} \cdot D^{1/3} \cdot \cos \alpha^{5/3} \cdot F_r^{1/3} \quad (4)$$

으로 된다.

* 부경대학교 대학원

** 부경대학교 기계공학과

2.1.2 Soda 식⁽²⁾

Soda는 베어링에 관한 다음의 식을 제안하고, 반경 방향 변형량 δ_r 의 값을 식 (5)로 표현하였다.

$$\delta_r = 5.386 \times 10^{-7} \sqrt[3]{\frac{F_r^2}{Z^2 D}} \quad (5)$$

식 (5)를 식 (1)의 정의에 따라 베어링 강성을 나타내면, 식 (6)과 같이 된다.

$$k = 4 \times 10^4 Z^{2/3} \cdot D^{1/3} \cdot F_r^{1/3} \quad (6)$$

2.1.3 수정된 Harris 식⁽⁷⁾

Harris 식에서 계수와 하중의 지수부분을 실험데이터에 근거해서 수정한 수정된 Harris 식은 식 (7)과 같다.

$$k = 4.5 \times 10^6 Z^{2/3} \cdot D^{1/3} \cdot \cos \alpha^{5/3} \cdot F_r^{1/4} \quad (7)$$

2.2 롤러베어링 (단열 원통형 롤러 베어링)

2.2.1 Harris 식⁽¹⁾

레디얼 롤러베어링의 경우에도 순수한 반경방향 하중만을 고려하면, 틈새가 있는 경우 근사적으로 식 (2)는 타당한 것으로 받아들여진다. 또한 반경방향 변형은

$$\delta_r = 3.0367 \times 10^{-10} \frac{Q_{\max}^{0.9}}{l^{0.8} \cos \alpha} \quad (8)$$

이고, 식 (8)에 식 (2)를 대입하고, 식 (1)에 의해 베어링 강성은

$$k = 8.818 \times 10^8 Z^{0.9} \cdot l^{0.79} \cdot \cos \alpha^{0.9} \cdot F_r^{0.1} \quad (9)$$

가 된다.

2.2.2 Soda 식⁽²⁾

Soda에 의한 롤러 베어링의 반경방향의 변형량은

$$\delta_r = 2.22 \times 10^{-5} \frac{F_r}{Zl} \quad (10)$$

으로 주어지고, 식 (1)에 의해 베어링 강성은

$$k = 2.22 \times 10^8 Z \cdot l \quad (11)$$

가 된다.

2.2.3 수정된 Harris 식 및 Soda 식⁽⁶⁾⁽⁷⁾

롤러 베어링에 대해서도, 실험 데이터에 근거하여 Harris 식을 수정한 수정된 Harris 식이 제안되어 있으며, 이는 식 (12)와 같다.

$$k = 4.5508 \times 10^5 Z^{0.9} \cdot l^{0.79} \cdot \cos \alpha^{0.9} \cdot F_r^{0.1} \quad (12)$$

또한, Soda 식에 대하여도 실험데이터에 근거한 수정된 Soda 식을 사용하였다.

$$k = 4.095 \times 10^5 Z^{0.9} \cdot l^{0.9} \cdot F_r^{0.1} \quad (13)$$

여기서 F_r : 전하중 [N], Z : 볼 수, l : 롤러길이 [m], D : 볼 직경 [m], α : 접촉각 등이다.

3. 실험에 의한 강성평가

본 소프트웨어는 실험데이터에 중점을 두고 개발된 데이터베이스이다. 따라서 문헌의 실험 데이터 획득과정을 간략하게 정리하였다.

3.1 실험장치⁽⁴⁾

베이스 위에 고정지그를 설치하여 축에 설치된 베어링을 고정하고, 만능재료시험기(Universal Testing Machine)를 사용하여 베어링에 반경하중을 가하였다.

3.2 실험방법⁽⁴⁾

서론에서 제시한 베어링들에 대해 LOB(Load On Ball)상태와 LBB(Load Between Ball)상태에서 시행된다. Fig. 1에서 (a)는 LOB상태의 하중 부하조건을 보이고, (b)에 LBB상태의 부하조건을 나타내고 있다.

100N의 초기하중을 작용시킨 후 U.T.M.의 일정속도(0.07 mm/s)조건하에서 실험된다. 베어링의 변위는 레이저 변위센서를 이용하여 측정하고 센서출력전압

(V)을 변위값으로 환산된다. 측정감도는 0.4 V/mm 이다.

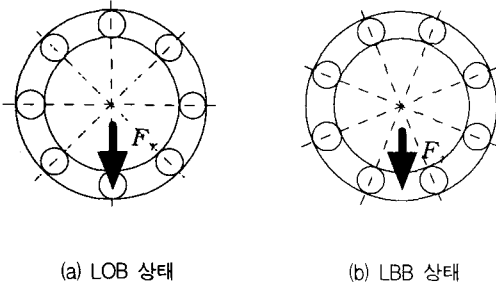


Fig. 1 베어링의 하중상태에 따른 분류

센서의 설치 위치는 베어링부에 설치하는 것이 원칙이나 설치가 용이하므로, U.T.M.이 부하를 가하면서 내려오는 가압기구의 아래 부분에 대해서 가압할 때 변위를 측정한다. 여기서 보다 정확한 데이터를 측정하기 위해 센서의 레이저가 반사되는 부위에 흰색 테이프를 부착하여 가압기구면의 미소한 요철부분으로 인한 변위의 차이가 없도록 한다.

3.3 강성평가⁽⁷⁾

실험데이터는 LOB와 LBB의 평균치에 대한 강성을 구했으며, Fig. 2에 이론치와 비교한 하나의 예를 나타내었다.

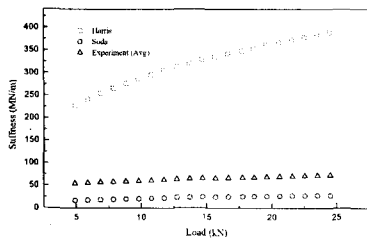


Fig. 2 이론치와 실험치의 비교 예 (#6313)

구해진 실험적인 강성값은 각 베어링 호칭번호별로 실험강성식이 구해진다. 한 예로 Fig. 2에 보이는 호칭번호 #6313의 실험강성식은



Fig. 3 Main window

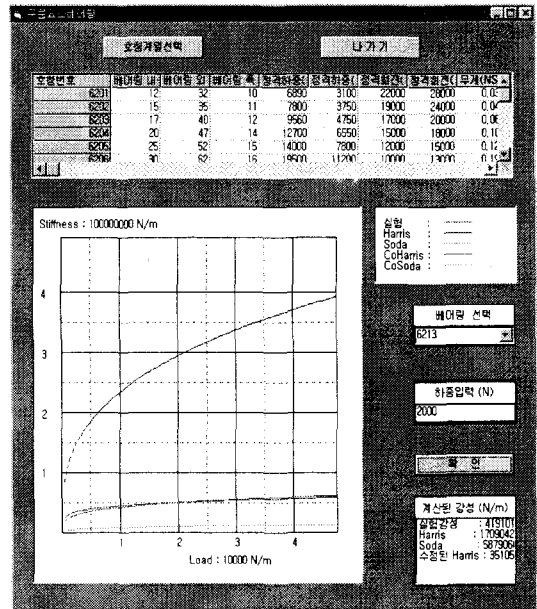


Fig. 4 Display window

$$k = 6.4229 \cdot F_r^{0.1034} \cdot D^{-0.1984} \cdot Z^{0.7824} \quad (14)$$

이다.

4. 소프트웨어 구성

본 소프트웨어는 언급된 4개의 강성평가식과 실험 데이터의 곡선적합을 통한 실험강성식에 의한 강성값 등을 사용자에게 제시해주며, 베어링 데이터를 추가 및 수정할 수 있도록 고안되었다. 사용된 프로그래밍 언어는 Visual Basic 6.0 이다.

본 소프트웨어의 주 화면은 Fig. 3 과 같다.

그리고 그 구성은 크게 호칭번호별로 제원 및 강성 선도를 보여주는 표시 창과 입력 및 수정을 수행하는 입력 창 그리고 도움말을 제공하는 도움말 창으로 구성되어 있다.

표시 창은 다시 보유하고 있는 베어링의 제원을 보여주고 선택된 베어링 강성을 앞에서 언급된 다섯 개의 평가식들로부터 얻어진 선도로 보여준다. 또한 특정 하중에 대한 강성 값을 구해준다(Fig. 4). 제시되는 제원은 베어링 내경, 베어링 외경, 베어링 폭, 정정격하중, 동정격하중, 그리스 윤활 시의 정격회전, 오일 윤활 시의 정격회전, 무게, 볼 혹은 롤러의 수, 볼의 지름, 볼의 길이, 접촉각 등이다.

입력창을 통해 사용자는 필요한 베어링의 제원을 입력하여 사용할 수 있도록 되어 있다(Fig. 5). 제원의 입력은 언급된 항목에 한정되어 있으며, 항목의 추가는 고려되어 있지 않다. Visual Basic이 제공하는 데이터베이스 툴을 사용하고 있지 않으므로, 정보의 호환성은 높지 않다. 단 데이터파일에 베어링 제원이 저장되므로 문서 편집 프로그램으로도 수정이 가능하다.

도움말 창은 본 소프트웨어의 사용방법과 제시되어 있는 강성평가식들의 사용자들이 참고해야 할 정보를 제공하고 있다(Fig. 6)

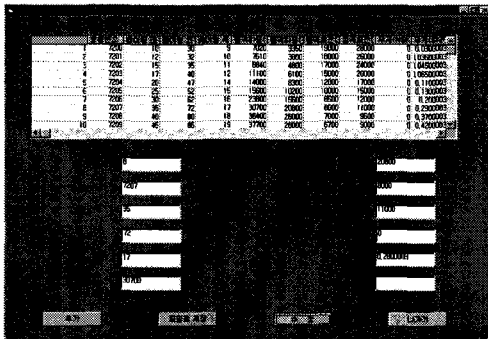


Fig. 5 Input window

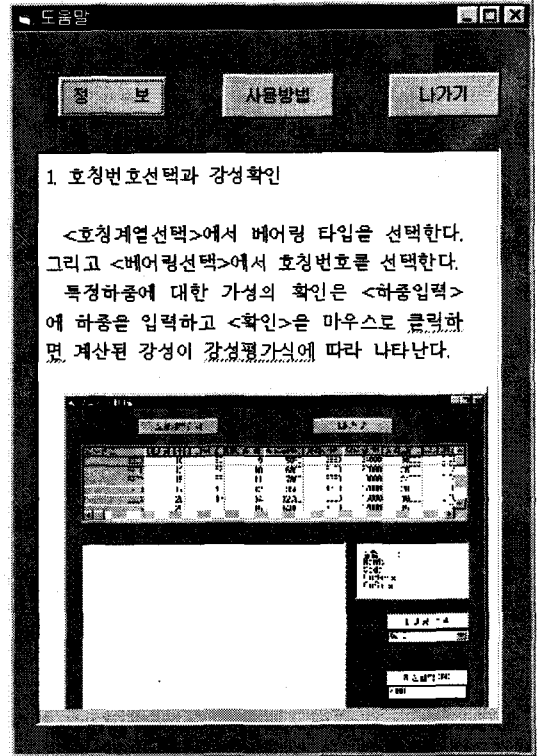


Fig. 6 Help window

5. 결론

Harris 식은 전반적으로 실험치보다 상당히 큰 값을 보여주며, Soda 식은 실험치보다도 오히려 작은 경향을 가지고 있다. 이에 비해 수정된 Harris 식이나 수정된 Soda 식은 같은 타입의 베어링에 대하여 여러 베어링에 걸쳐 실험치와 잘 근사 한다. 본 소프트웨어를 사용하여 강성을 참고하고자 할 때, 기존의 이론식 보다는 실험식에 의한 값이나, 수정된 Harris 식 혹은 수정된 Soda 식 등에 의한 강성값을 사용할 것을 권장한다.

본 연구에서는 기존에 실험된 베어링강성 데이터와 제안된 이론식 및 수정된 이론식 등을 이용하여 회전축계의 진동해석 및 설계시에 사용자가 적절한 베어링을 선택하는 데 편리하게 사용할 수 있도록 이들 베어링들의 제원 및 강성을 데이터베이스화 하는 소프트웨어를 개발하였다.

참고 문헌

- (1) Tedric A., 1984, "Rolling Bearing Analysis", Second Edi., John Wiley & Sons.
- (2) Soda, N., 1981, 軸受, 岩波書店.
- (3) Wan Changsen, 1991, "Analysis of Rolling Element Bearing", Mechanical Engineering Publications LTD. LONDON.
- (4) 조영천, 길병래, 양보석, 1998, "볼 베어링의 강성평가에 관한 연구", 강연회 및 연구개발 발표회 논문집, 유체기계공업학회, pp. 210~215.
- (5) 김상화, 권영억, 신동엽, 1997, "볼 베어링의 강성평가에 관한 연구", 학사학위논문, 부경대학교.
- (6) 김기용, 최보람, 1998, "롤러베어링의 강성의 실험적 평가에 관한 연구", 학사학위논문, 부경대학교.
- (7) 김이한, 최원주, 1998, "볼베어링의 강성의 실험적 평가에 관한 연구", 학사학위논문, 부경대학교.
- (8) NSK Nippon Seiko, "Motion & Control Technology", 日本精工株式會社.
- (9) SKF "Large bearings for heavy engineering applications", VLT PRESS AB.