

ISO281:2007 을 이용한 베어링 수명 계산

Bearing life calculation by using the ISO281:2007

*#이승표¹, 이나연¹, 이인하¹

*#S. P. Lee(leeseungpyo@iljin.com)¹, N. Y. Lee¹, I. H. Lee¹

¹㈜일진글로벌 기술연구소

Key words : Rolling bearing life, ISO281:2007

1. 서론

구름 베어링(rolling bearing)의 수명 계산 이론은 대략 백 년 전부터 개발되어왔다. 1924년 Palmgren 은 피로한도(fatigue limit)의 개념을 도입하였고, 이 개념을 바탕으로 하여 1947년 Lundberg 와 Palmgren 은 구름 베어링의 기본 정격 수명(basic rating life of rolling bearings, L_{10}) 계산 방법을 제안하였다. 위의 이론을 기본으로 하여 ISO 에서는 베어링의 수명을 계산할 수 있는 국제 표준(ISO281:1990)¹ 을 제정하였다. 이와 같이 제정된 베어링 수명 계산 이론은 최근 들어 생산기술이 발전하여 베어링의 수명이 길어짐에 따라 보다 정확한 수명 계산이 필요하게 되었으며, 이를 위하여 국제 표준이 개정(ISO281:2007)² 되었다.

개정된 ISO281:2007 국제 표준은 기본 정격 수명뿐만 아니라 보정 정격 수명(modified rating life, L_{nm})을 계산 할 수 있는 방법을 제시하였다. 그러나, 보정 정격 수명은 계산 방법이 기본 정격 수명 계산에 비하여 상대적으로 복잡하여 손쉽게 계산하기가 어려운 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 Antoine 등³ 이 제안한 방법을 이용하여 보정 정격 수명 계산을 손쉽게 계산하는 방법을 제시하였다.

2. 보정 정격 수명 계산

보정 정격 수명은 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10} \quad (2)$$

여기서, a_1 은 신뢰도를 위한 보정 계수이며

Table 1로부터 구할 수 있다. 또한, a_{ISO} 는 하중조건, 회전수, 윤활유의 점성(viscosity), 청정도(contamination), 재료의 피로한도(fatigue limit) 등을 고려하여 계산된 값이며, 구름 볼 베어링의 경우 식 (3)과 같다.

$$a_{ISO} = 0.1 \left[1 - \left(2.5671 - \frac{2.2649}{\kappa^{0.054381}} \right)^{0.83} \left(\frac{e_c C_u}{P} \right)^{1/3} \right]^{-9.3}, 0.1 \leq \kappa < 0.4$$

$$a_{ISO} = 0.1 \left[1 - \left(2.5671 - \frac{1.9987}{\kappa^{0.19087}} \right)^{0.83} \left(\frac{e_c C_u}{P} \right)^{1/3} \right]^{-9.3}, 0.4 \leq \kappa < 1$$

$$a_{ISO} = 0.1 \left[1 - \left(2.5671 - \frac{1.9987}{\kappa^{0.071739}} \right)^{0.83} \left(\frac{e_c C_u}{P} \right)^{1/3} \right]^{-9.3}, 1 \leq \kappa \leq 4 \quad (3)$$

κ 는 점성비(viscosity ratio)로써 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

Table 1 Life modification factor for reliability, a_1

Reliability, %	L_{nm}	a_1
90	L_{10m}	1
95	L_{5m}	0.64
96	L_{4m}	0.55
97	L_{3m}	0.47
98	L_{2m}	0.37
99	L_{1m}	0.25
99.2	$L_{0.8m}$	0.22
99.4	$L_{0.6m}$	0.19
99.6	$L_{0.4m}$	0.16
99.8-	$L_{0.2m}$	0.12
99.9	$L_{0.1m}$	0.093
99.92	$L_{0.08m}$	0.087
99.94	$L_{0.06m}$	0.080
99.95	$L_{0.05m}$	0.077

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1} \quad (4)$$

여기서, ν 는 작동 온도에서의 동점성(kinematic viscosity)이며, ν_1 은 식(5)로부터 계산되는 참고 동점성(reference kinematic viscosity)이다.

$$\nu_1 = 45000n^{-0.83}D_{pw}^{-0.5}, n < 1000 \text{ rpm}$$

$$\nu_1 = 4500n^{-0.5}D_{pw}^{-0.5}, n \geq 1000 \text{ rpm} \quad (5)$$

여기서, n 은 회전수, D_{pw} 는 볼 또는 롤러의 피치 지름(pitch diameter)을 의미한다.

e_c 는 청정도 요인(contamination factor)으로 윤활제의 종류에 따라 여러 가지 등급으로 나눌 수 있다. 이 중에서 그리스 윤활(grease lubrication)의 경우, High cleanliness 등급의 청정도 요인 계산 방법은 식 (6)과 같다.

$$e_c = a \left(1 - \frac{0.6796}{D_{pw}^{1/3}} \right) \quad (6)$$

여기서, $a = 0.0864\kappa^{0.68}D_{pw}^{0.55}$

C_u 는 피로한도로써 구름 볼 베어링의 경우 식 (7)과 같이 계산할 수 있다.

$$C_u = 0.2288ZQ_u i \cos \alpha, D_{pw} \leq 100 \text{ mm}$$

$$C_u = 0.2288ZQ_u i \cos \alpha \left(\frac{100}{D_{pw}} \right), D_{pw} > 100 \text{ mm} \quad (7)$$

여기서, Z 는 볼 수, i 는 열 수, α 는 접촉각(contact angle)이며, Q_u 는 단일 접촉 시 피로한도 값으로 식 (8)과 같다.

$$Q_{u,i,e} = \sigma_{Hu}^3 \times \frac{32\pi\chi_{i,e}}{3} \left(\frac{1-\nu_E^2}{E} \times \frac{E(\chi_{i,e})}{\sum \rho_{i,e}} \right)^2 \quad (8)$$

여기서, σ_{Hu} 는 헤르츠 접촉 응력(Hertzian contact stress), χ 는 접촉 타원의 장축과 단축의 비, ν_E 는 Poisson 비, E 는 탄성계수, $E(\chi)$ 는 complete elliptic integral of the second kind, $\sum \rho$ 는 곡률 합(curvature sum)을 의미한다.

Q_u 를 계산하기 위해서는 타원 적분을 계산해야 할 뿐만 아니라, χ 에 대한 implicit 방정식에 대한 해를 구해야 하므로 손쉽게

구할 수 없다. 따라서, Antoine 등은 이를 해결하기 위하여 χ 와 $E(\chi)$, $K(\chi)$ 를 각각 식 (9), 식 (10), (11)과 같이 선형 대수 방정식으로 가정하였다.

$$\chi = \left(\frac{B}{A} \right)^\gamma \quad (9)$$

여기서, $A = \frac{\sum \rho}{4} (1 + F(\rho))$, $B = \frac{\sum \rho}{4} (1 - F(\rho))$,

$$\gamma = \frac{2}{3} \left(\frac{1 + \mu_1 X^2 + \mu_2 X^4 + \mu_3 X^6 + \mu_4 X^8}{1 + \mu_5 X^2 + \mu_6 X^4 + \mu_7 X^6 + \mu_8 X^8} \right), X = \log_{10}(B/A)$$

$$K(\chi) = \int_0^{\pi/2} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\chi^2} \right) \sin^2 \varphi \right]^{-1/2} d\varphi \quad (10)$$

$$= (\alpha_0 + \alpha_1 m_1 + \alpha_2 m_1^2) - (\alpha_3 + \alpha_4 m_1 + \alpha_5 m_1^2) \cdot \ln m_1$$

$$E(\chi) = \int_0^{\pi/2} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\chi^2} \right) \sin^2 \varphi \right]^{1/2} d\varphi \quad (11)$$

$$= (\beta_0 + \beta_1 m_1 + \beta_2 m_1^2) - (\beta_3 + \beta_4 m_1) \cdot \ln m_1$$

여기서, $m_1 = 1/\chi^2$

Antoine 등이 제안한 방법에 의하여 단일 접촉 시 피로한도 값을 손쉽게 구할 수 있으며, 이로부터 구름 볼 베어링의 피로한도를 계산할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 ISO281:2007 국제 표준에 언급된 보정 정격 수명 계산 방법을 이용하여 구름 볼 베어링의 보정 정격 수명 계산 방법을 제시하였다. Antoine 등이 제안한 방법을 이용하여 손쉽게 보정 정격 수명 계산을 계산하는 방법을 제시하였다.

참고문헌

1. International Standard, "Rolling bearings-Dynamic load ratings and rating life," ISO281:1990, 1990.
2. International Standard, "Rolling bearings-Dynamic load ratings and rating life," ISO281:2007, 2007.
3. Antoine, J-F., Visa, C., and Sauvey, C., "Approximate Analytical Model for Hertzian Elliptical Contact Problems," Transactions of the ASME, **128**, 660~664, 2006.