

굴삭기용 슬루잉 베어링의 하중분배 및 접촉응력 해석 Load distribution and contact analysis of slewing bearing for excavator

*김영진¹, #조용주¹, 문석만¹, 이보라¹,
*Y. J. Kim¹, #Y. J. Cho(yjcho@pusan.ac.kr)¹, S.M.Moon¹, B.R.Lee¹
¹부산대학교 기계공학부

Key words : Load distribution, Contact analysis, Slewing bearing, Excavator

1. 서론

선회베어링(Slewing bearing)은 회전하는 기계의 축의 위치를 고정하고 하중을 지지하면서 축을 회전시키는 일반적인 베어링의 역할을 하면서 안쪽이나 바깥쪽 접촉부에 기어가 존재하는 형태의 베어링으로 주로 크레인, 굴삭기, 풍력발전기 등에 사용된다. 이번 연구에서는 굴삭기 선회베어링의 신뢰성 높은 설계를 위해 제품에 작용되는 하중 정보를 이용하여 베어링의 전동체(볼)마다 부하되는 하중을 분석하고, 분석한 하중정보로 접촉응력, 표면아래응력 해석을 수행해서 수명을 예측해 보았다.

2. 이론

2.1 베어링의 하중분배

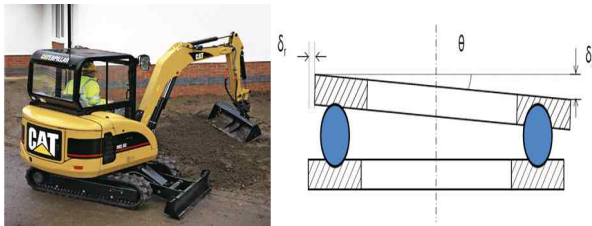


Fig. 1 Relative displacements between raceways

경 하중, 축 하중 및 모멘트 하중을 받는 베어링은 위의 Fig. 1과 같이 변형량 (δ_r , δ_z , θ)이 발생한다. 이러한 변형량을 식(1)을 이용하여 하중값을 구할 수 있다.

$$Q = K\delta^n \text{ (Ball bearing, } n = 1.5) \quad (1)$$

변형량을 구하기 위해서 먼저 다음 Fig. 2와 같이 좌표를 설정하고 기하학적으로 변형량을 수식화 할 수 있다. 변형량은 4개의 궤도론 곡률중심 Cil, Ciu, Col, Cou의 좌표의 변화량을 이용하여 구할 수 있다. 평형방정식 (2), (3), (4)를 만족하

$$Fr + \sum_{i=0}^Z \sqrt{q_{1x}^2 + q_{1y}^2} + \sum_{i=0}^Z \sqrt{q_{2x}^2 + q_{2y}^2} = 0 \quad (2)$$

$$Fz + \sum_{i=0}^Z q_{1z} + \sum_{i=0}^Z q_{2z} = 0 \quad (3)$$

$$M + \sum_{i=0}^Z \sqrt{m_{1x}^2 + m_{1y}^2} + \sum_{i=0}^Z \sqrt{m_{2x}^2 + m_{2y}^2} = 0 \quad (4)$$

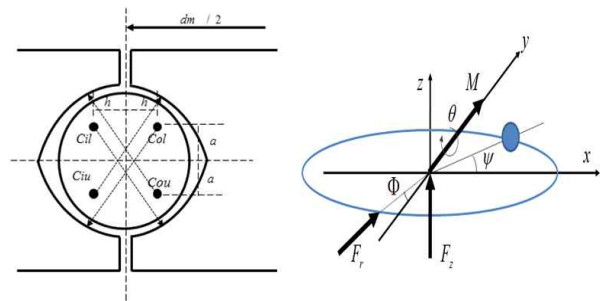


Fig. 2 Coordinates of curvature and direction of load

는 변형량을 찾으면 전동체마다 부하되는 하중값을 구할 수 있다.

2.2 접촉응력 해석

일반적인 두 탄성체의 접촉 해석은 상당표면과 강체면의 접촉으로 생각할 수 있다. 본 연구에서는 기본적으로 영향 함수를 이용한 3차원 접촉 해석을 이용하였다. 등방성 및 균질한 두 Non-conformal 탄성체에 수직 하중이 작용할 때 접촉 면적과 압력 분포를 알기위해 사각조각 표면에 작용하는 일정한 분포하중에 의한 변위의 해를 이용하여 두 탄성체 사이의 응력 해석을 수행하였다.

2.3 표면아래응력 해석

표면아래응력해석은 등방성이고 균질인 반무한체 표면의 임의의 영역 S위에 수직하중 $P(\xi, \eta)$ 이 작용할 때 반 무한체 내에서 생기는 응력을 다음과 같은 포텐셜함수를 도입하여 각각 표현할 수 있다.

$$H_1 = \int \int_S p(\xi, \eta) (z \ln(\rho + z) - \rho) d\xi d\eta \quad (5)$$

여기서 ξ, η 는 하중이 작용하는 영역 S위의 임의의 점의 x,y축 방향으로의 좌표이다. 그리고 ρ 는 반 무한체내의 점과 접촉영역 위의 점과의 거리이다. 식 (5)를 z에 대해 미분하면 다음과 같다.

$$H_1 = \frac{\partial H_1}{\partial z} = \int \int_S p(\xi, \eta) z \ln(\rho + z) d\xi d\eta \quad (6)$$

3. 해석결과

3.1 해석 조건

Table 1 Excavator slewing bearing's load data

F_L (Load Factor)	F_a [kN]	F_r [kN]	M[kN]	Q_{max} [kN]
1.0	150	80	650	11.522
1.1	165	80	715	12.342
1.2	180	80	780	13.141
1.3	195	80	845	13.924
1.4	210	80	910	14.688

Table 1의 값들은 베어링의 부하하중조건을 통해 F_a, F_r, M 에 해당하는 작업하중의 Load factor를 이용하여 5가지 케이스로 나열한 것이다. $D=35mm, Z=59EA, dm=766mm$ 인 슬루잉 베어링을 대상으로 하였으며 Q_{max} 는 하중분배 결과이다.

3.2 해석 결과

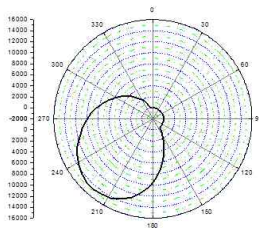


Fig. 3 Load distribution at each ball

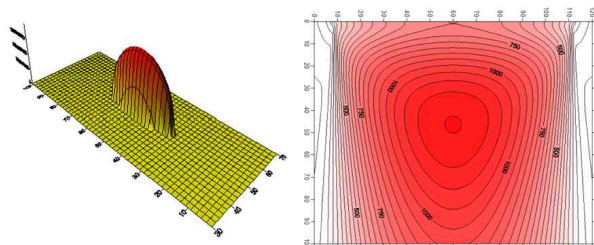


Fig. 4 Contact pressure and subsurface stress at $F_L=1.4$

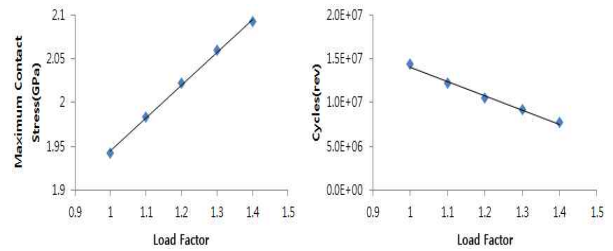


Fig. 5 Maximum pressure and fatigue life at each load factor

Table 2 Results of contact and fatigue analysis

F_L (Load Factor)	P_{max} [GPa]	Subsurface P_{max} [GPa]	Fatigue Life [Cycle]
1.0	1.942	1.114	1.437E+07
1.1	1.983	1.136	1.219E+07
1.2	2.023	1.158	1.060E+07
1.3	2.060	1.178	9.173E+06
1.4	2.093	1.203	7.723E+06

4. 결론

- (1) 굴삭기 작업하중을 고려한 슬루잉 베어링의 각 볼의 하중분배를 수행하였다. (Fig. 3)
- (2) 최대수직하중을 받는 볼의 접촉압력분포와 표면아래응력분포를 계산하였다. (Fig. 4)
- (3) 작업하중에 따른 최대접촉압력과 피로수명 평가하였다. (Fig. 5, Table. 2)
- (4) 본 연구의 굴삭기 설계시 1.0×10^7 Cycle을 무한수명으로 설정하면 1.3 이하의 Load factor를 적용해서 수명을 근거로 한 베어링 내구성을 보장하는 설계가 가능해진다. (Table. 2)

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. Harris, T. A., "Rolling Bearing Analysis, 3rd Edition," Wiley, New York, 1991.
2. Love, A. E. H., "Stress Produced in a Semi-infinite Solid by Pressure on Part of the Boundary," Phil. Trans. Royal Society, A228, pp.377-420, 1929. of the CIRP, 39, 517-521, 1990.
3. J. I. Amasorrain., "Load distribution in a four contact-point slewing bearing," Mechanism and Machine theory, Vol.38, Issue.6, pp.479-496, 2003.