

정밀소형회전기구의 마모해석모델에 관한 연구

여은구*·조선형**·이용신***

Development of Wear Analysis Model of Precision Small Rotating Device

E.G. Yoh, S.H. Jo, and Y.S. Lee

Abstract

Recently, micro forming process technology have been developed since the size of machine parts become the crucial factor for minimizing of products in general electronic products. Most small machine parts consist of gear and rotation axis and the wear by mechanical contact is known as the primary factor for life reduction of high precision machine part. Lots of studies for mechanical wear and friction have been reported and many researches of MEMS technology have been studied recently. But, just few studies for wear of micro or milli sized machine part have been implemented. In this research, the wear equation is suggested according to the contact shape of axial part in micro or milli sized machine part. And wear analysis model which can predict the magnitude of wear through this suggested equation with numerical analysis program.

Key Words : Microwear, Modeling, MMAs(Micro Mechanical Assemblies)

1. 서론

정밀소형 기계기구의 대부분은 기어와 회전축으로 구성되어 있으며 기계적 접촉에 의한 마모는 정밀 기계부품의 수명을 단축시키는 주요한 원인 중의 하나로 알려져 왔다. 기계적 마찰과 마모에 대해서 이미 많은 연구자들이 실험과 이론적 연구가 이루어져 왔으며 최근에는 MEMS에 대한 연구가 급속히 진행되고 있다. 매우 적은 하중에서의 마이크로나 밀리단위의 소형회전 기계기구 마모에 대한 연구는 실제 산업현장에 매우 빈번히 발생하는 문제임에도 불구하고 많은 연구가 이루어지지 않았다. Williams⁽¹⁾는 MEMS와 소형기구에 사용하는 회전축의 마모와 마찰에 대하여 접촉형상에 따른 모델을 제시하였다. Gardos^(2,3)는 MEMS에 사용되는 베어링재료에

대한 연구를 하였고, Bhushan^(4,5)은 마이크로 재료의 마찰역학에 대한 연구를 하였다. Megregany⁽⁶⁾는 MEMS의 마이크로 모터 마모를 측정하였다.

본 연구에서는 정밀소형 회전기구에 사용되는 축 부품의 접촉형상에 따른 마모에 대하여 Archard⁽⁷⁾의 마모식을 이용하여 유도하였다.

2. 축 마모모델

축의 마모는 탄성을 일으키는 작은 외력만 가지고도 형상을 변화시켜서 수명을 단축시키기 때문에 기계설계에 있어서 중요한 문제라고 생각한다. 따라서 정밀소형 회전축에 대하여 만족할 만한 마모모델을 제안하려면 접촉면의 하중과 접촉 형상을 고려한 모델이어야 한다.

* 국민대학교 자동차대학원
** 동서울대 기계공학부
*** 국민대학교 기계자동차공학부

그런 의미에서 Archard의 마모식은 매우 유용하다.

$$\text{Wear rate} = K_W \times \text{pressure} \times \text{sliding velocity} \quad (1)$$

여기서, K_W 는 실험에 의해서 구하는 마모계수이다. 미끄럼 속도는 축의 회전 각속도를 사용하며 압력은 축과 베어링부위의 접촉형상에 따라 달라진다.

2.1 평끝단 회전축

원형 회전축의 평끝단과 베어링이 원공형태로 뚫려있는 경우 수직하중 W , 회전 각속도가 ω 일때 Archard의 마모식은 다음과 같이 쓸 수 있다.(Fig. 1)

$$\frac{d\Delta}{dt} = K_W \times p \times r\omega \quad (2)$$

$$W = \int_{R_i}^{R_o} 2\pi p r dr \quad (3)$$

여기서, Δ 는 축방향 마모깊이이며, R_i 는 베어링의 내경, R_o 는 축의 외경이다. P 에 대하여 식(3)을 정리하면 수직압력은 다음과 같이 정리된다.

$$P = \frac{W}{\pi(R_o^2 - R_i^2)} \quad (4)$$

각속도를 축의 회전수 dN 와 dt 로 변화하여 식(2)을 정리하면 다음과 같다.

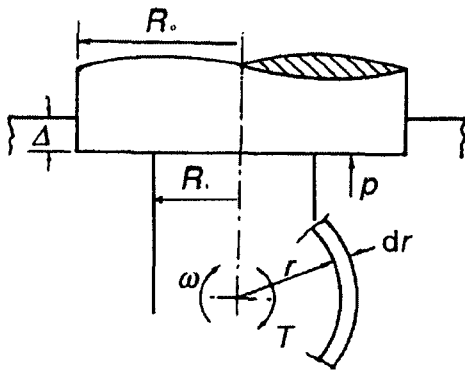


Fig. 1 Flat-ended pivot of radius R_o carrying a normal load W . The factor Δ represents the extent of the axial wear

$$\frac{d\Delta}{dt} = K_W \pi P R_o \frac{dN}{dt} \quad (5)$$

$$\Delta = \pi K_W P R_o N \quad (6)$$

이때, 마모로 손실된 체적은 $V = \pi (R_o^2 - R_i^2) \Delta$ 이므로 식(6)을 정리하면

$$V = \pi^2 K_W P N R_o (R_o^2 - R_i^2) \quad (7)$$

식(4)을 식(7)에 대입하면,

$$V = \pi K_W W N R_o \quad (8)$$

식(8)은 Archard의 마모식을 이용하여 유도한 평축의 총 회전수에 대한 마모량 계산식이다.

2.2 원추형끝단 회전축

원형 회전축의 원추형끝단과 맞물린 베어링의 경우 수직하중 W 은 원추의 각 θ 때문에 다음과 같이 쓸 수 있다.(Fig. 2)

$$W_N = W \times \cos\theta \quad (9)$$

$$P = \frac{W \cos^2\theta}{\pi R^2} \quad (10)$$

$$\Delta = \pi K_W P R N \quad (11)$$

$$V = \pi K_W W N R \cos^2\theta \quad (12)$$

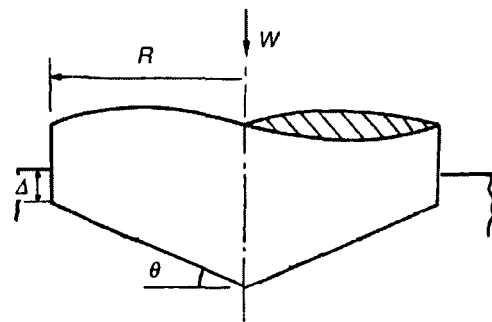


Fig. 2 Conical pivot of radius R carrying a normal load W . The factor Δ represents the extent of the axial wear

2.3 반구형끝단 회전축

원형 회전축의 반구형끝단과 맞물린 베어링의 경우 수직응력 P는 반구의 표면에 따라 옆면 쪽으로 갈수록 감소하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.(Fig. 3)

$$P = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{W \cos \theta}{2\pi R^2} d\theta \quad (13)$$

$$\Delta = \pi K_W P R N \quad (14)$$

$$V = \frac{\pi}{2} K_W W N R \quad (15)$$

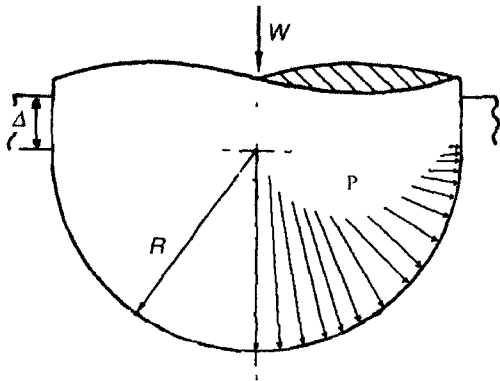


Fig. 3 Spherical pivot of radius R carrying a normal load W. The factor Δ represents the extent of the axial wear

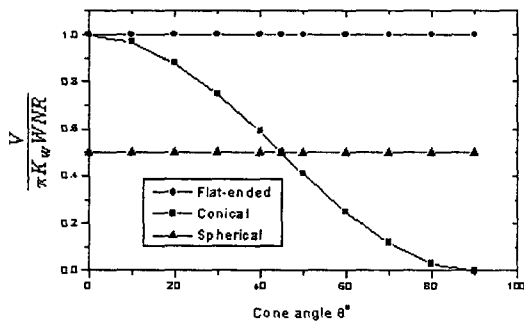


Fig. 4 Comparison of the three type wear model on the cone angle θ

Fig. 4 는 세 가지 축과 베어링의 접촉형상에 따른 비례적 비교수치이다. 원추형 모델의 각도가 증가함에 따라서 마모량의 비율이 줄어드는 것을 관찰 할 수 있다.

3. 결론

정밀소형 회전기구에서 마모는 축과 연결된 베어링과 접촉부위에서 가장 크게 나타난다. 밀리 단위, 혹은 마이크로 단위의 매우 작은 크기와 작은 압력을 받고 있는 접촉부위의 마모량 예측은 일반 마모해석모델로는 근사값을 예측하기 힘들다. 손목시계의 시침축이나, 초소형 모터의 회전축과 베어링 마모 해석에 바로 그것이다.

본 논문에서 Archard의 마모식을 세 가지 다른 접촉형상에 따라 전개하였다. 평끝단을 가지고 있는 축의 마모량이 가장 큰 값을 갖게 되고, 원추형 끝단의 각도가 45°보다 클때 반구형 끝단의 축보다 더 작아짐을 알 수 있다. 그러나 실제 원추형의 끝단을 45°보다 크게 가공하는 것이 쉽지 않다. 현재 위의 마모모델을 사용하기 위하여 실험장비를 제작하고 있으며 차후 실험을 통해 구해진 K_w를 이용하여 마모모델의 적합성을 검증할 예정이다.

후기

이 논문은 2003년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었습니다.

참고 문헌

- (1) J.A. Williams, 2001, "Friction and wear of rotating pivots in MEMS and other small scale devices", *Wear*, Vol. 252, pp. 965~972.
- (2) M.N. Gardos, 1996, "Tribological behavior of polycrystalline and single-crystal silicon", *Tribol. lett.*, Vol, 2, pp. 355~373.
- (3) M.N. Gardos, 1998, "Advantages and limitation of silicon as a bearing materials for MEMS applications", *Tribology Issues and Opportunities*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 341~366.
- (4) B. Bhushan, 1999, "Micro/nanotribology and the micro/nanomechanics of MEMS devices", *Handbook of Micro/Nano Tribology*, CRC Press,

- Boca Raton, FL, pp. 797~834.
- (5) B. Bhushan, 1996, "Contact mechanics of rough surfaces in tribology: single asperity contact", *Appl. Mech. Rev.*, Vol. 49, pp. 275~298.
- (6) M. Megregany, D. Senturia, J.H. Lang, 1992, "Measurements of wear in polysilicon micro-motors to MEMS", *IEEE Trans. Electron. Devices*, Vol. 39, pp. 1136~1143.
- (7) J.F. Archard, 1953, "Contacts and rubbing of flat surfaces", *J. of Appl. Phys.*, Vol. 24, pp. 981~988.