

Porous 면에 대향하는 textured surface의 윤활특성 해석 A Study on the lubrication characteristics of a textured surface subtending with a porous layer

*이수영¹, #석종원², 배상현¹

*S. Lee¹, #J. Seok(seokj@cau.ac.kr)², S. Bae¹

¹중앙대학교 기계공학부 대학원, ²중앙대학교 기계공학부

Key words: Surface Texturing, Porous media, Cavitation, Load Carrying Capacity, Equivalence Friction Coefficient

1. 서론

현재 사용되는 대부분의 금속 부품은 상대적인 운동에 의해 발생하는 마찰로 인한 마모가 부품의 수명을 결정하는 주요한 요인이 된다. 마찰과 마모를 줄이기 위한 보편적인 방법으로는 상대 운동하는 두 개의 접촉면을 액상 또는 고상 윤활제 등으로 분리시켜 접촉면 사이에 얇은 윤활막을 형성하는 방법이 있으며, 그 외에 거친 접촉 표면을 연마 또는 코팅하는 방법 등이 있다. 이 외에 두 개의 접촉면에 특정한 성질을 가지는 물질을 도포 하는 방법이 있는데, 이 때 주로 다공성 물질이 사용된다.

다공성 물질은 자연과학과 공학의 여러 분야에서 사용되어 왔다. 공학 분야에서는 다공성 물질의 기공에 윤활유를 저장 할 수 있어 이를 베어링 등의 금속 부품에 사용하는 경우 추가적인 윤활유 공급이 크게 요구되지 않는다는 장점으로 다양한 윤활 영역에 사용되고 있다. 또한 마찰 에너지를 최소화하기 위한 방법 중에서 미세 딥플과 같은 표면 형상의 가공을 통한 표면 텍스처링(surface texturing)기법은 윤활특성을 크게 향상시킬 수 있는 장점에 기인하여 현재 많은 연구가 수행되고 있다. 텍스처링 으로 생성된 미세가공 형상은 유동체를 저장하여 윤활 효과를 향상시키고 마찰계수 감소 현상을 야기하는 것으로 알려져 있다. 또한 딥플 내부에 마모 잔해가 저장됨으로써 이로 인해 매끄러운 계면을 만들 수 있다.

본 논문에서는 다공성 물질 내부의 유체 유동을 해석할 수 있는 Brinkma-extended-Darcy방정식을 이용하여 해석을 수행하였다. 또한 공동화 현상이 발생하는 딥플 입구 부분에서 상기 방정식을 적용하기 위해 수치해석으로 공동 현상을 반영하여야 하므로 이를 위해 방정식의 변형 없이 수치해의

반복적 계산 및 수정을 통하여 계산하는 방식을 사용하였다.

한편, 본 논문에서는 다공성 기저부에 대해 운동하는 반 타원체 형상의 딥플이 있는 평면 베어링의 윤활 특성에 대해 상기 방정식을 이용한 수치해석적인 방법으로 연구를 수행하였다. 반복적 수치해의 계산을 위해 Gauss-Seidel 방법을 이용하였고, 이를 통해 다공성 물질이 도포되어 있는 평면 베어링 내부에서의 부하지지능력(Load Carrying Capacity; LCC)과 윤활면에 작용하는 마찰계수(Equivalence Friction Coefficient; EFC)의 변화를 고찰하였다.

2. 해석 방법

본 연구에서는 해석 대상인 평면 베어링을 점성 유체의 내부 유동이 있는 채널이라 가정하였고, 채널의 가로·세로의 길이는 동일한 사각형 판으로 모델링 하였다. 이 모델에서 베어링의 상단 평면에는 딥플이 텍스처링 되어 있고 베어링의 하단 평면에는 다공성 물질이 도포 되어 있다. 텍스처링 된 딥플은 반 타원형으로 의 길이를 가지고 x, y축을 따라 일정한 간격으로 분포되어 있는 형태이다. 모델링 된 채널의 형상은 Fig. 1과 같다.

본 논문에서는 Brinkman-extended-Darcy 방정식을 사용하여 해석을 수행하였고 그 형태는 (1)과 같다.

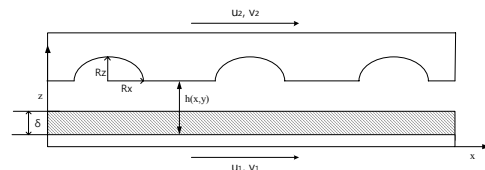


Fig. 1 A schematic of the plane bearing surface textured in semi-ellipsoidal dimples

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(G_3 \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(G_3 \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} G_1 U_1 + \frac{\partial}{\partial y} G_1 V_1 + \frac{\partial}{\partial x} G_2 U_2 + \frac{\partial}{\partial y} G_2 V_2 - \frac{\partial H}{\partial T} \quad (1)$$

식 (1)의 G_1, G_2, G_3 는 다공성 물질의 투과성(K), 다공성 물질과 윤활유 사이의 점성 비율(α), 윤활유와 다공성 물질의 경계면 상에서 발생하는 Stress Jump 계수(β), 다공성 물질의 두께 등을 반영한 높이에 대한 함수이다.

본 해석에는 윤활유로 물을 사용하였고 채널의 속도는 $U_1 = 1m/s, U_2 = V_1 = V_2 = 0m/s$ 와 $V_1 = 1m/s, V_2 = U_1 = U_2 = 0m/s$ 의 경우를 비교하여 반 타원체 덤플의 이방성에 대하여 알아보았다. 또한 다공성 물질의 물성치를 나타내는 변수의 타당한 범위는 Fig. 2의 그래프를 이용하여 확인하였다. 본 논문에서는 다공성 물질이 도포된 두께는 0.1, $K=2.77644$ 로 고정시킨 채 α 와 β 값을 변화하며 해석을 수행하였다.

3. 결과 및 결론

Fig 3은 다공성 물질이 도포되어 있지 않은 채널의 압력 분포와 다공성 물질이 각각 다른 물성치로 도포되어 있는 경우의 압력 분포를 나타낸 그래프이다. 덤플의 개수는 x축 방향으로 4개, y축 방향으로 4개로 총 16개 이고 윤활유로는 물을 사용하였다.

Fig. 3의 (a)에서 최대 압력값은 111.8243이고 이 때의 압력으로 인한 LCC는 4.2056, EFC는 5.3790이다. Fig. 3의 (b)는 $\alpha=1.0039, \beta=0.19$ 일 경우의 압력 분포이다. 그래프에서 알 수 있듯이 최대 압력값은 213.1520이고 이 때 LCC값은 8.1202, EFC값은 2.8857이다.

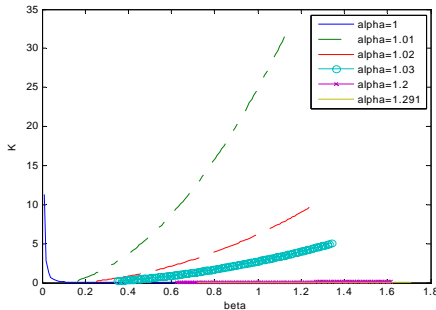
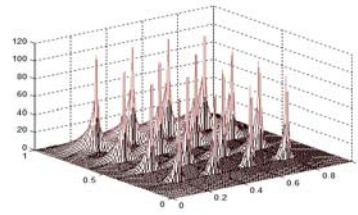
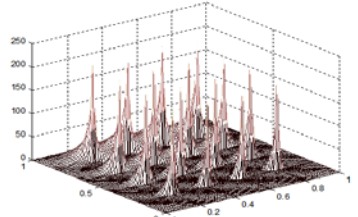


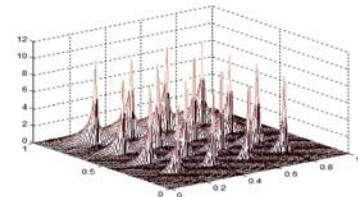
Fig. 2 The critical α value when K and β is change



(a) non-porous



(b) $\alpha=1.0039, \beta=0.19$



(c) $\alpha=1.009, \beta=0.5$

Fig. 3 The pressure distribution of each case

Fig. 3의 결과로 다공성 물질이 도포되어 있는 경우 LCC와 EFC의 값은 다공성 물질의 물성치에 크게 의존하는 것을 확인할 수 있다. K값을 고정하고 α 와 β 값을 변화시킬 때 α 값이 작을수록 LCC가 증가하게 된다. 또한 Fig. 3의 (b)의 경우는 다공성 물질이 없는 경우보다 윤활특성이 더 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

후기

본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발 사업으로 지원된 연구결과입니다. (과제번호: 10039982)

참고문헌

1. Brizmer, V., Kligerman, Y., Etsion, I., "A Laser Surface Textured Parallel Thrust Bearing" Tribology transaction, **46**, No. 3, 397-403, 2003.
2. Li, W., "Derivation of Modified Reynolds Equation-A Porous Media Model" Journal of Tribology, **121**, 823-829, 1999.