

시일과 스틸면 사이의 구형 마멸입자에 의한 접촉응력 해석 ontact tress nal sis of a pherical ear Particle et een eal and teel surface

#박태조¹, *유재찬², 조현동³, 정현기⁴

[#]T. J. Park(tjpark@gnu.ac.kr)¹, ^{*}J. C. Yoo², H. D. Jo³, H. G. Jung⁴

¹ 경상대 기계항공공학부, ReCAPT(K-MEM R&D Cluster), ² 경상대 대학원, ³ 경상대 기계항공공학부, ⁴ 국방과학연구소

Key words : Seal, Steel Surface, Wear Particle, Contact Stress Analysis, MARC

1. 서론

시일(Seal)은 작동유체나 윤활유의 누설방지 뿐만 아니라 외부의 이물질이 시스템 내부로 유입되는 것을 방지하기 위하여 필수적으로 사용되고 있다. 특히, 외부에서 유입된 이물질은 상대운동을 하는 윤활면을 마멸(Wear)시키거나 필터(Filter)를 막히게 하는 등의 많은 문제를 유발시킨다는 것은 잘 알려진 사실이다. 한편, 경도와 강도가 상대적으로 아주 낮은 시일에 비하여 이것이 설치되는 상대면인 축은 표면경도를 높게 설계하고 있다. 이는 외부에서 침투한 이물질이나 시스템 내부에서 발생한 마멸입자가 연한 시일에 박혀서 고가로 중요한 부품인 축을 마멸시키는 것을 방지하기 위함이다. 즉, 실제로 장시간 사용한 후에 시일을 설치한 스틸축이 마멸되는 것은 연삭마멸(Abrasive wear)이 주된 마멸발생기구일 것으로 이해되고 있지만 이에 대한 연구결과는 크게 미흡한 실정이다[1].

Sun 등[2]은 강구(Steel ball)와 코팅층 사이의 접촉문제를 축대칭 요소를 사용하여 FEM 해석하였으며, Kang 등[3]은 경질의 이물질에 의한 압흔(Dent) 발생이 구름베어링에서 조기파손을 유발시키는 원인으로 작용할 수 있음을 이론적으로 규명하였다. Conveney & Menger[4]는 탄성체와 강체 사이에 침투한 마멸입자가 운동하는 경우의 접촉문제를 해석하였으며, McColl 등[5]은 평판위에 놓인 실린더가 진동할 경우의 fretting 마멸을 검증하기 위하여 FEM을 사용한 2차원 평면해석을 수행하였다. 이러한 연구에도 불구하고 시일을 설치한 스틸면의 마멸기구를 조사한 연구는 아직 전무한 실정이다. 한편, 유재찬과 박태조[6-7]은 시일, 스틸면, 마멸입자가 모두 탄성체인 경우의 접촉문제를 처음으로 해석한 결과, 피로에 의해서 스틸면이 마멸될 수 있음을 밝혔다. 하지만 2D 평면변형 문제로 해석하였기 때문에 실제의 사용조건과는 차이가 있는 경우의 결과였다.

본 논문에서는 실링부에 존재하는 마멸입자에 의한 스틸면에서의 마멸기구를 조사하기 위한 연구의 일환으로 시일과 스틸면 사이에 경질의 구(Sphere)형 입자가 존재하는 경우의 접촉문제를 비선형문제해석 S/W인 MARC를 사용하여 해석하였다.

2. 해석방법

Fig.1은 본 논문에서의 접촉해석을 위한 모델을 나타낸 그림으로 상부의 시일과 하부의 스틸면 사이에 경질인 구형의 마멸입자(혹은 이물질)가 삽입되어 있다. 마멸입자가 구형이기 때문에 3D 해석이 요구되지만 해석을 간단하게 하기 위하여 축대칭요소를 정의하여 해석하였다. 참고로 축대칭해석과 3D해석의 결과가 서로 거의 동일함을 확인하였다. 해석에 사용된 경계조건으로는 시일에 작용하는 간섭량에 의해서 하부의 스틸면이 움직이는 것을 방지하기 위해 스틸면 하단의 y방향 변위는 고정하였고, 간섭량을 표현하기 위해 시일의 상부에는 Rigid요소를 접촉으로 정의하여 변위시켰다. 한편, 시일과 스틸면에 비하여 크기가 매우 작은 마멸입자에 의한 접촉응력을 정확하게 해석하기 위해 마멸입자와 접하는 부분의 메쉬(Mesh)는 조밀하게 두었다[6-7].

Table 1에는 해석에 사용된 재료와 입자의 물성치를 나타내었다. 본 논문에서는 마멸입자의 직경을 10, 50, 100 μ m로 변화시키고, 간섭량은 0 ~ 120 μ m 범위로 변화시키면서 해석하였다. 그리고 접촉부의 과도한 변형발생으로 인하여 수렴되지 않는 경우를 피하기 위해서 Time Table을 정의하였다[8].

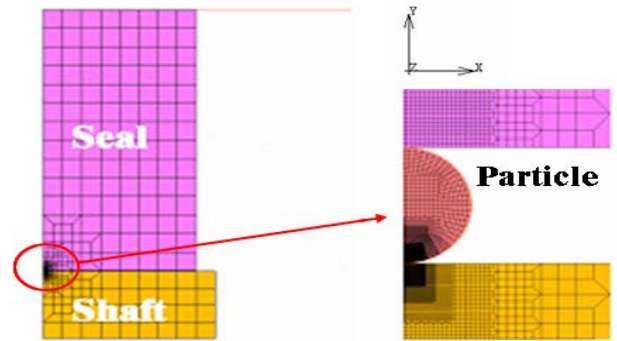


Fig.1 Geometry of contact model used in analysis.

Table. 1 Used material property

	Young's modulus, GPa	Poisson's ratio	Specific gravity
Seal(PTFE)	0.46	0.46	2.16
Particle	520	0.24	10.0
Shaft	200	0.30	7.9

3. 결과 및 고찰

Fig.2에는 마멸입자의 직경이 50 μ m일 때 간섭량이 10 μ m와 100 μ m로 서로 다른 경우에 대한 von-Mises 응력분포와 함께 변형된 시일의 형상을 비교하여 나타내었다. 간섭량이 커질수록 응력의 크기는 증가할 뿐만 아니라 넓은 범위에서 분포하며, 시일은 크게 변형되어 마멸입자를 감싸는 면적이 증가할 뿐만 아니라 스틸면과도 접촉하였다.

Fig.3은 마멸입자의 직경이 100 μ m이고 간섭량이 120 μ m일 때 스틸표면에서의 변위와 수직응력을 나타낸 결과로 접촉부 뿐만 아니라 접촉부 주위에도 변위가 발생하고 있다. 또한, 마멸입자와 접촉되는 지점에서는 국부적으로 아주 큰 압축응력이 작용하고 있음을 알 수 있다.

Fig.4는 간섭량의 변화에 따른 von-Mises 응력의 크기변화를 마멸입자의 크기별로 나타낸 그래프로 간섭량이 동일한 경우에 마멸입자가 커질수록 응력의 크기는 낮아지며, 입자의 크기에 따라 차이가 있지만 일정 간섭량 이상에서는 응력이 증가하지 않았다. 이러한 결과는 Fig.2(b)에서 고찰한 바와 같이 마멸입자의 크기에 비하여 간섭량이 일정값 이상으로 커지면 시일이 스틸면에 접촉하여 결과적으로는 마멸입자에 추가적인 하중이 작용하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

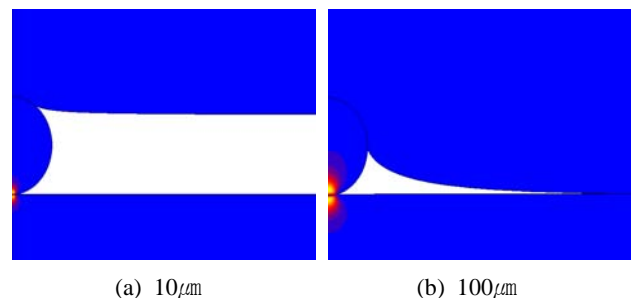


Fig. 2 Von-Mises stress distribution and deformed seal shape with interference.

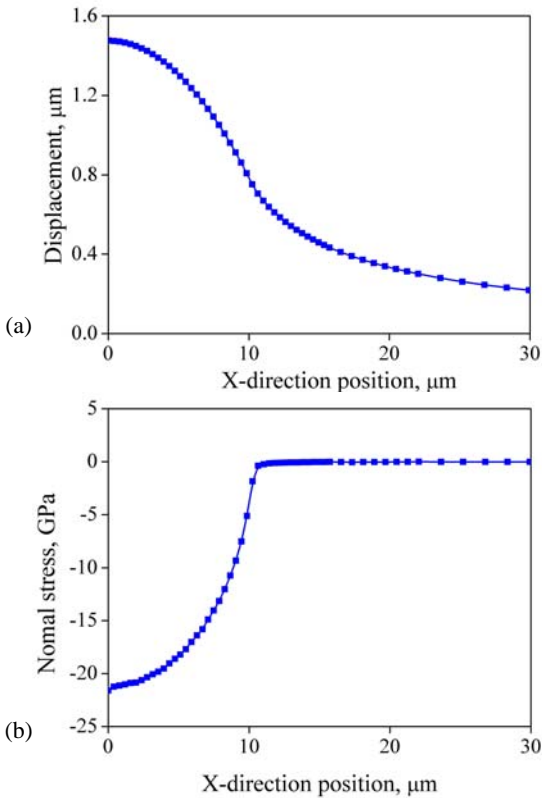


Fig.3 Path plot at steel surface. (a) displacement, (b) contact stress

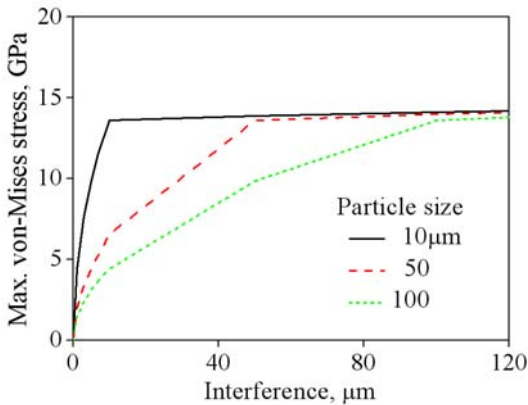


Fig.4 Variation of Max. von-Mises stress with interference.

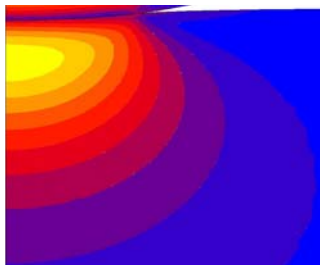


Fig.5 Shear stress distribution.

Fig.5는 마멸입자의 직경이 10 μm 이고, 간섭량이 120 μm 인 경우에 대한 전단응력의 분포를 등고선으로 나타낸 그림으로 최대전단응력은 노란색 부분에서 발생하며, 이의 위치는 스틸면 표면보다 아래이다. Fig.6은 간섭량의 변화에 따른 최대전단응력 발생 위치를 나타낸 결과로 일정량 이상의 간섭량인 경우에는 발생 위치가 거의 일정하게 유지되며, 이는 von-Mises 응력상태와(Fig.4 참조) 동일한 경향의 결과이다. 따라서, 시일에 관한 마멸입자에 의한 스틸면 표면아래에서 발생하는 아주 높은 응력에 의해서 스틸면이 피로에 의해서 마멸될 수 있을 것으로 예상된다[6].

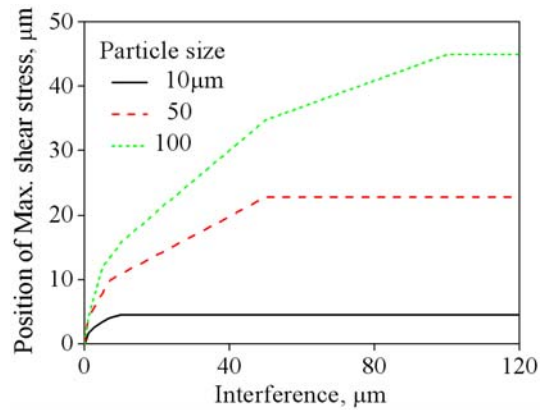


Fig.6 Location of max. shear stress position with interference.

4. 결론

본 논문에서는 시일을 설치한 스틸면이 피로에 의해서 마멸될 수 있는지를 조사하기 위하여 경질의 구형 입자가 시일과 스틸면 사이에 존재하는 경우의 접촉문제를 MARC를 사용하여 이론해석하였다. 이때, 간섭량과 마멸입자의 크기 변화에 따른 변형형상, 응력분포 및 최전전단응력 발생위치 등의 변화를 구하였다. 이 결과, 간섭량이 커지고 입자가 작아질수록 스틸면에 작용하는 접촉응력은 커지고 최대전단응력이 발생하는 표면 아래의 깊이는 깊게 되었다. 하지만 일정량 이상의 간섭량인 경우에 이들이 거의 일정한 값을 나타내는 것은 시일과 스틸면이 직접 접촉하기 때문이었다. 특히, 스틸면 아래에서 발생하는 아주 높은 크기의 전단응력으로 인하여 시일을 설치한 스틸면이 피로에 의해서 마멸될 수 있음을 확인하였다. 또한, 본 논문에서 사용한 해석방법 및 결과는 시일의 설계, 시일 설치부의 열처리 설계 등에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대되며, 다양한 설계변수에 대한 추가연구가 요구된다.

후기

본 논문은 2단계 BK21사업과 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Bhushan, B., Principles and Applications of Tribology, Marcel Dekker, 1998.
2. Sun, Y., Bloyce, A. and Bell, T., "Finite Element Analysis of Plastic Deformation of Various TiN Coating/Substrate Systems under Normal Contact with Rigid Sphere", Thin Solid Films, 271, 122-131, 1995.
3. Kang, Y. S., Sadeghi, F. and Hoerprich, M. R., "A Finite Element Model for Spherical Debris Denting in Heavily Loaded Contacts", Trans. ASME, J. of Tribology, 126, 71-80, 2004.
4. Coveney, V. A. and Menger, C., "Behaviour of Model Abrasive Particles between a Sliding Elastomer Surface and a Steel Counterface", Wear, 240, 72-79, 2000.
5. McColl, I. R., Ding, J. and Leen, S. B., "Finite Element Simulation and Experimental Validation of Fretting Wear", Wear, 256, 1114-1127, 2004.
6. 유재찬, 박태조, "시일과 스틸면 사이의 마멸입자에 의한 접촉응력해석", 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, 523-524, 2007.
7. 유재찬, 박태조, "시일과 코팅된 스틸면 사이의 마멸입자에 의한 접촉응력해석", 한국윤활학회 춘계학술대회논문집, 253-258, 2007.
8. MSC, "MSC. MARC/MENTAT 2005r2 User's Guide", A-E, 2005.