

시일과 스틸면 사이의 마멸입자에 의한 접촉응력해석 Contact Stress Analysis of Wear Particle between Seal and Steel Surface

*유재찬¹, #박태조²

*J. C. Yoo¹, #T. J. Park(tjpark@gnu.ac.kr)²

¹ 경상대학교 대학원, ² 경상대학교 기계항공공학부

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

1. 서론

대부분의 실링장치(Sealing device)에서는 탄성체(Elastomer)인 시일(Seal)과 축(Shaft)이 접촉상태를 유지하여 유체의 누설과 이물질의 침투를 방지하고 있다. 하지만 실제에서는 예상치 못한 여러 가지 이유로 인하여 실링기능을 다하지 못하는 경우가 아주 많이 발생하고 있다. 특히, 실링면 사이로 이물질이나 마멸입자(Wear particle)가 침투하면 이로 인하여 축의 표면이 점진적으로 마멸되고, 간극이 커지게 되어 누설이 증가하게 된다. 일반적으로 실링부의 마멸은 주로 연삭마멸에 기인하는 것으로 인식되어 있으며, 이의 방지를 위하여 축의 표면경도는 높게 설계하고 있다[1]. 즉, 경질의 이물질이나 마멸입자는 시일면에 박힌 상태에서 상대적으로 경도가 높은 축을 연삭작용으로 깎아내는 것으로 이해되고 있다. 하지만 연삭마멸만으로는 실링장치에서의 마멸기구에 대한 완전한 설명이 어려우므로 마멸입자의 거동에 대한 정확한 이해가 요구되고 있다.

Coveney & Menger[2]는 탄성체와 스틸면 사이의 있는 마멸입자의 거동에 따라 탄성체에 작용하는 응력을 분석하였다. 이때, 스틸면은 강체로 정의하여 해석하였다. Kang & Sadeghi[3]은 구형의 입자가 회전하는 로울러 사이를 통과하는 경우에 대한 입자의 변형과 압흔(Denting) 과정을 조사하였다. Ko & Ioannides[4]는 FEM을 사용하여 구름베어링에서의 이물질에 의한 압흔과 잔류응력과의 관계를 조사하였다. 선행연구들에서 이물질이나 마멸입자에 의한 접촉문제를 해석하였지만 시일, 마멸입자 및 스틸면을 동시에 해석한 연구결과는 아직 보고되지 않고 있다. 이는 시일의 비선형 특성과 함께 물성치가 크게 다른 복잡한 접촉문제를 다루어야 하기 때문에 일반적인 구조해석 소프트웨어로는 해석이 힘들기 때문일 것으로 판단된다.

본 논문에서는 실링부에 존재하는 마멸입자 등으로 인한 스틸면의 피로마멸 발생기구를 규명하기 위한 연구의 일환으로 시일, 마멸입자 및 스틸면에 대한 접촉해석을 비선형문제 해석전용 소프트웨어인 MARC[5]를 사용하여 해석하였다.

2. 해석방법

Fig.1은 본 논문에서 해석하고자 하는 시일과 스틸면 사이에 마멸입자를 삽입한 모델형상과 접촉부를 확대한 형상으로 해석의 단순화를 위하여 2차원 평면변형(Plane strain) 요소를 사용하였다. 경계조건으로는 간섭량의 작용에 의해서 스틸면이 움직이는 것을 방지하기 위해 스틸면 하단의 y방향 변위는 고정하였다. 또한, 간섭량이 작용하는 동안에 마멸입자도 움직이지 않는다고 가정하여 마멸입자의 x방향 변위도 고정하였다. 간섭량을 표현하기 위하여 시일의 상부에는 Rigid 요소를 정의하고, 시일의 상부와는 접촉으로 정의하여 변위를 주었다. 한편, 시일과 스틸면에 비해 상대적으로 크기가 매우 작은 마멸입자에 의한 접촉응력을 정확하게 해석하기 위하여 마멸입자와 접하는 부분의 시일과 축의 메쉬는 조밀하게 두었다. 전체 메쉬수는 7,500개이며, 마멸입자와 접하는 부분의 메쉬수는 1,900개 정도이다. 참고로 마멸입자의 메쉬보다 축과 시일부의 메쉬 크기가 클 경우에는 간섭량에 의해 변형이 생길 때 시일이 마멸입자를 뚫고 지나가거나 축에서의 정확한 접촉응력을 구하는 것이 어려울 수 있다.

Table 1에는 해석에 사용된 재료의 물성치를 나타낸 것으로 시일은 PTFE이고 축과 마멸입자는 각각 스틸과 WC로 하였다.

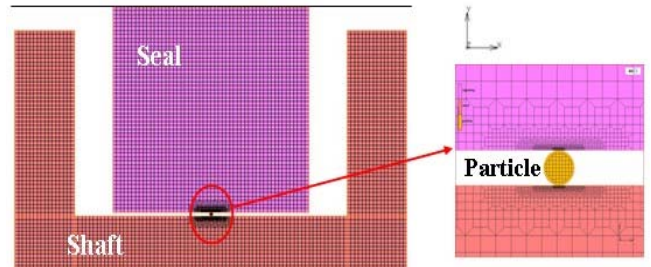


Fig. 1 Finite element model of the seal and the shaft

Table 1 Material property

	Young's modulus	Poisson's ratio	Density(kg/m ³)
Seal	0.46 GPa	0.46	2,160
Particle	520 GPa	0.24	10,000
Shaft	200 GPa	0.30	7,900

3. 해석결과

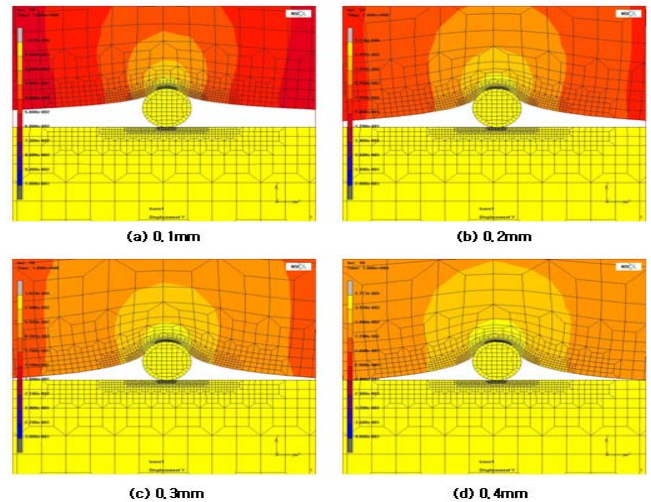


Fig. 2 Deformed phase of the seal with interference

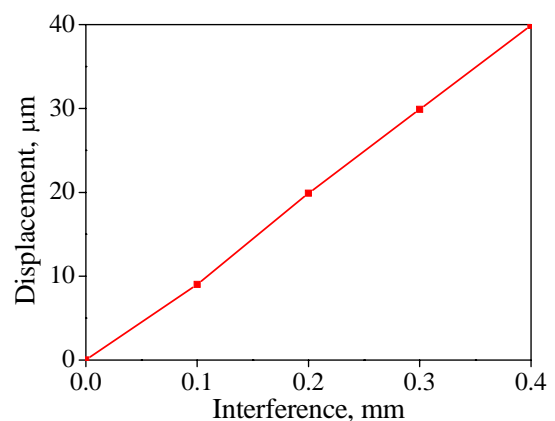


Fig. 3 Variation of displacement with interference

Fig.2는 간섭량의 변화에 따른 시일의 변형형상을 나타낸 것으로 간섭량이 커질수록 시일의 변형량이 커져서 마멸입자를 감싸는 시일의 면적이 증가하였다. Fig.3은 시일과 마멸입자의 접촉부의 간섭량 변화에 따른 변위를 나타낸 결과로 Fig.2에서 볼 수 있었던 간섭량이 커질수록 시일의 변위가 증가함을 알 수 있다.

Fig.4에는 간섭량이 0.4mm일 경우에 변형량, 등가 von-Mises 응력 및 접촉응력을 순서대로 나타낸 것이다. 변형량은 쉽게 예상할 수 있는 것과 같이 시일에서 거의 발생하고 상대적으로 강성이 아주 큰 마멸입자와 축에서는 거의 발생하지 않았다. 한편, 등가 von-Mises 응력과 접촉응력은 크기에 약간 차이가 있지만 분포는 거의 비슷하게 나타났다.

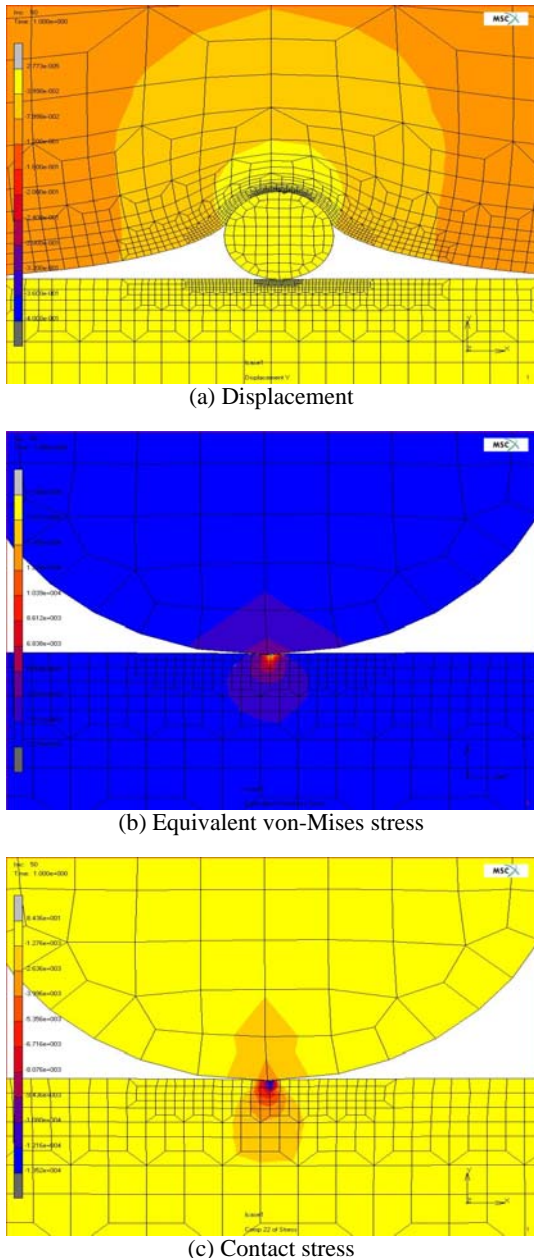


Fig. 4 Displacement and stresses distribution

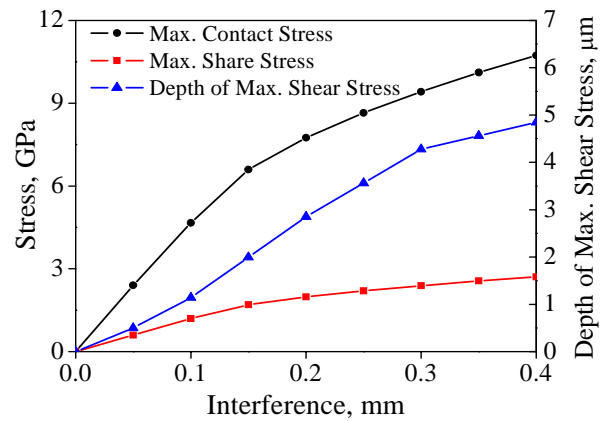


Fig. 5 Variation of maximum contact and share stress and depth of max. shear stress with interference

Fig.5는 간섭량의 변화에 따른 스틸면에 작용하는 최대 압축응력과 전단응력의 변화와 최대 전단응력이 작용하는 깊이를 나타낸 결과로 간섭량이 커질수록 최대압축응력과 전단응력 그리고 최대전단응력의 작용위치가 거의 선형적으로 증가하고 있다. 간섭량이 0.4mm일 경우, 마멸입자의 개재로 인한 최대 압축응력 및 전단응력의 크기는 각각 10.73GPa, 2.71GPa로 아주 높고, 전단응력 작용위치는 스틸 표면으로부터 약 5μm 떨어진 곳에 위치한다. 이와 같이 시일과 축 사이의 마멸입자는 일반적으로 축의 파손원인으로 인정되는 연삭마멸 뿐만 아니라 국부적인 응력집중을 유발시켜 축의 얇은 표면하에서 피로파괴의 원인으로 작용하고 있음을 추정할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 시일과 스틸면사이의 접촉면에 마멸입자가 침투하였을 때 발생할 수 있는 스틸면의 파손원인을 규명하기 위하여 시일, 마멸입자, 스틸면을 동시에 모델링하고, 비선형문제 해석전용 소프트웨어인 MARC를 사용하여 시일의 설치공차나 조립시에 발생할 수 있는 간섭량의 변화에 따른 변형량, 접촉응력 및 전단응력 등의 변화를 조사하였다. 이 결과, 간섭량이 커질수록 최대압축응력과 전단응력이 모두 증가하게 되고, 국부적인 부분에서의 집중하중이 반복되었을 때 연삭마멸이나 피로파괴의 원인이 될 수 있을 것으로 조사되었다. 따라서, 본 논문에서 사용한 해석방법은 시일의 선정과 시일설치부 설계에 적용될 수 있을 것으로 기대되며, 추가적인 연구가 요구된다.

후기

이 논문은 2단계 BK21사업과 (주)신원기계부품의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Bhushan, B., Introduction to Tribology, John Wiley & Sons, 2002.
2. Coveney, V. A. and Menger, C., "Behaviour of Model Abrasive Particles between a Sliding Elastomer Surface and a Steel Counterface", WEAR, Vol.240, pp.72-79, 2000.
3. Kang, Y. S., Sadeghi, F. and Hoepflich, M. R., "A Finite Element Model for Spherical Debris Denting in Heavily Loaded Contacts", Trans. ASME, J. of Tribology, Vol.126, pp.71-80, 2004.
4. Ko, C. N. and Ioannides, E., "The Associated Residual Stresses and Their Effect on the Fatigue Life of Rolling Bearing : An FEM Analysis, Proc. of the 15th Leeds-Lyon Sympo. on Tribology, pp.199-207, 1988
5. MSC, "MSC. MARC/MENTAT 2005r2 User's Guide", Vol.A~E.