

파손면적분석기법을 이용한 기어소재의 마이크로 피팅 수명 시험 Micro pitting experiments of gear material using a damaged area analysis method

*김영국¹, #조용주², 이병욱², 문석만²

*Y. K. Kim¹, #Y. J. Cho(yjcho@pusan.ac.kr)², B.W.Lee², S.M.Moon²

¹ 부산대학교 기계공학부, ² 부산대학교 기계공학부, ² 부산대학교 기계공학부

Corresponding author: yjcho@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-2307

Key words : Micro Pitting, Gear, Damaged area, Pitting test

1. 서론

기어는 동력 전달을 위한 시스템의 핵심 요소로 신뢰성이 필수적으로 요구되는 부품이다. 기어의 접촉은 선접촉과 같은 비적합(nonconformal) 조건에서 작동되는 기계요소로, 요소 전체 크기에 비해 상대적으로 매우 작은 접촉영역을 가지고 있다. 이러한 접촉면에 집중된 응력의 반복에 의하여 표면에 pitting이나 spalling 등의 표면 손상이 발생하게 된다.

최근 기어의 접촉면 파손기구의 측면이 부각되고, 이와 관련된 연구가 증가하고 있다. 하지만 정확한 파손기준을 정하는 것이 미흡하여 피팅 수명 예측에 많은 어려움을 겪고 있다. K.Ashtantas¹는 최대 피팅 크기를 결정하여 특정 피팅이 최대 피팅 크기보다 크면 파손을 결정하였으며, Klaus Michuetis²는 Weibull distribution의 L₅₀ 을 이용하여 파손을 판정하였고 R.S.Zhou³는 Crack의 길이를 측정하여 파손을 판정하였다. 그리고 Jongsung Kim⁴은 실험장비의 진동을 측정하여 진동의 크기로 파손을 판정하였으며, H.-P. Otto⁵는 피팅실험에서 현미경을 이용하여 기어 전체면적과 피팅면적의 비가 4%이상이면 파손을 결정하였고 마이크로 피팅 실험에서는 조도를 측정하여 마멸량을 측정하여 마멸량의 정도를 이용하여 파손을 결정하였다.

본 연구에서는 표면 응력 해석을 기반으로 접촉면적에서 파손된 부분의 면적을 측정하여 접촉면적과 파손면적의 비율을 구하여 파손의 정도를 정량적으로 측정하여 기어재료의 피팅 수명 S-N 그래프를 구하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

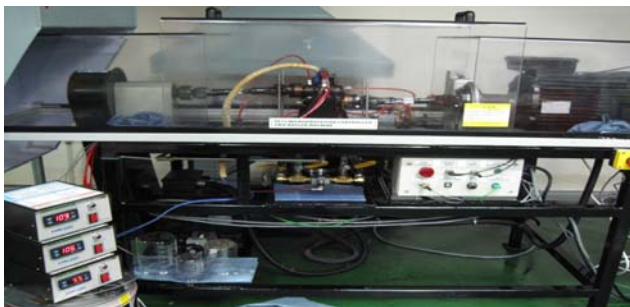


Fig. 1 Experiment equipment

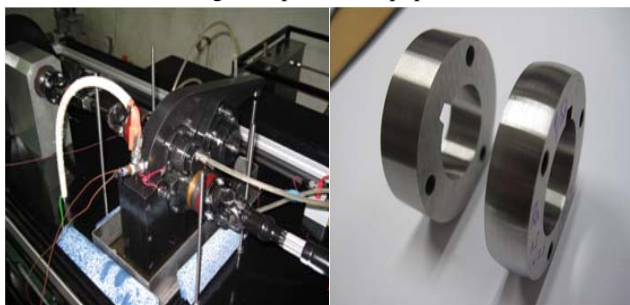


Fig. 2 Roller and Specimen

Fig.1은 print사의 Two Roller Machine 이다. 이 장비는 최대 11kN 의 조건으로 실험이 가능하다. 또한 슬립비를 조절하여 순수 구름 실험 및 미끄럼 시험이 가능하다. 실험 시편은 Fig.2와 같이 실린더 모양이다. 실린더와 실린더가 접촉할 경우 edge부근에 압력이 상승하기 때문에 위쪽 시편에 크라운닝을 해서 실험을 하였다.

실험 조건은 접촉응력 해석에 따라 3GPa 일 경우 5400N, 2.5GPa일 경우 3070N, 2GPa 일 경우 1600N의 하중으로 실험을 하였다. 실제 기어의 발열 현상을 재현하기 위해서 슬립비를 5%로 하였다. 윤활유는 시중의 ATF를 사용하였으며 유량은 80ml로 실험을 하였다. 윤활유 공급온도는 90℃로 유지하고 분위기 온도도 90℃로 유지하면서 실험을 하였다. 그리고 시편의 상태를 확인하기 위해서 적절한 시간에 시편의 현미경 사진을 찍고 상태를 확인하였다.

3. 파손면적분석기법

파손 면적분석기법은 접촉면적에서 파손면적을 측정하여 그 비율을 이용하는 방법으로 먼저 접촉해석을 통해서 접촉면적을 계산할 수 있었다. 그리고 파손면적은 광학 현미경을 이용하여 계산하였다.

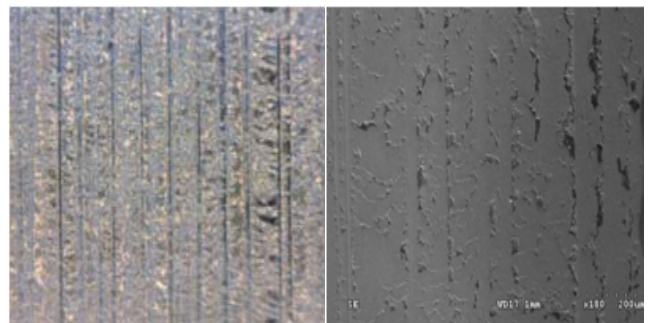


Fig. 3 Failure specimen under optical microscope

Fig.3는 실험 후 파손상태의 시편을 광학 현미경을 이용하여 175배율로, SEM 현미경을 이용하여 180배율로 촬영한 사진이다. 광학 현미경과 SEM 사진을 통해서 비교해본 결과 현미경사진에서 희고 밝게 빛나는 부분이 피팅이 발생한 부분으로 알 수 있었다. 그래서 희고 밝은 부분의 영역을 조사하여 파손면적을 분석 하였다. 면적의 계산은 희고 밝은 부분의 픽셀의 수를 측정하여 전체픽셀의 수에서 피팅이 일어난 부분의 픽셀의 비를 이용하여 계산하였다.

4. 결론

Table 1 Change of specimen about cycles under 2.5GPa 80ml

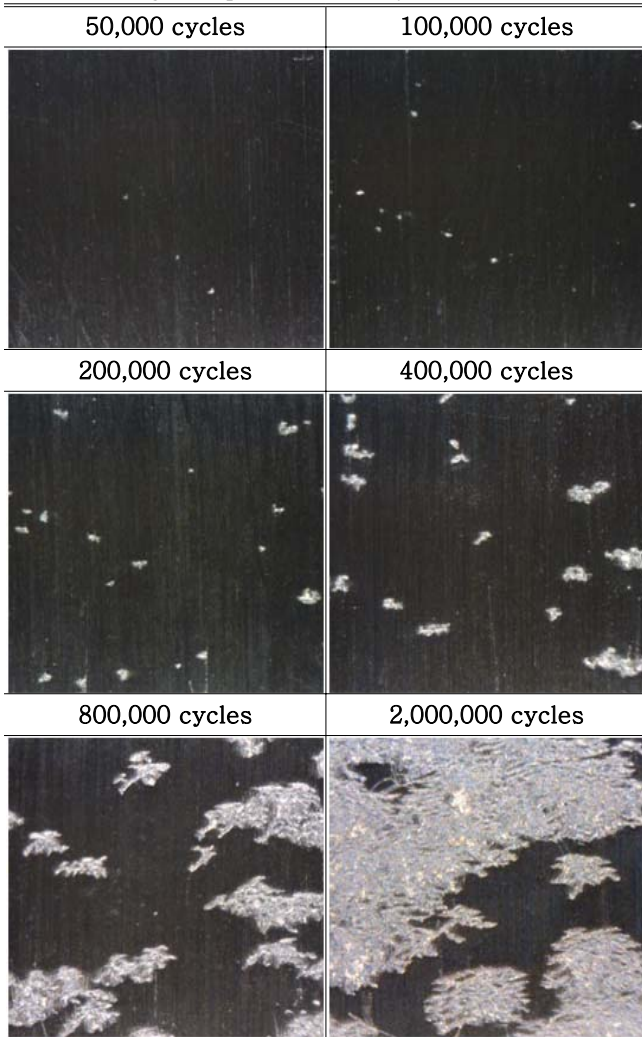


Table 1은 접촉응력 2.5GPa에 윤활유량 80ml로 실험을 하여 한 부분에서 표면의 변화를 현미경 사진으로 관측한 결과이다. 회전수 50,000에서는 작은 피팅이 확인되었고 점차 시간이 흐를수록 피팅의 개수가 많아지고 크기가 커지는 것을 확인 할 수 있었다. 그 정도를 파손면적분석기법을 이용하여 측정하여 정량적인 값으로 나타낼 수 있었다.

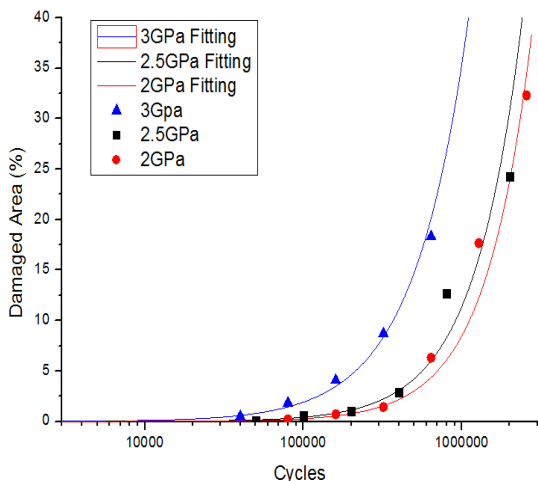


Fig. 4 The graph of Damaged Area - Cycles

Fig.4는 3GPa, 2.5GPa, 2GPa에서 회전수마다 측정된 파손면적의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 초기에는 파손의 진행이 완만하다가 일정값 이상이 되면 급격히 변하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 이 그래프를 fitting하여 수식화 하여 우리가 알고 싶은 파손정도에서의 회전수를 확인 할 수 있었다. 그래서 파손의 정도가 4%, 10%, 20% 일 때의 회전수를 확인하였다.

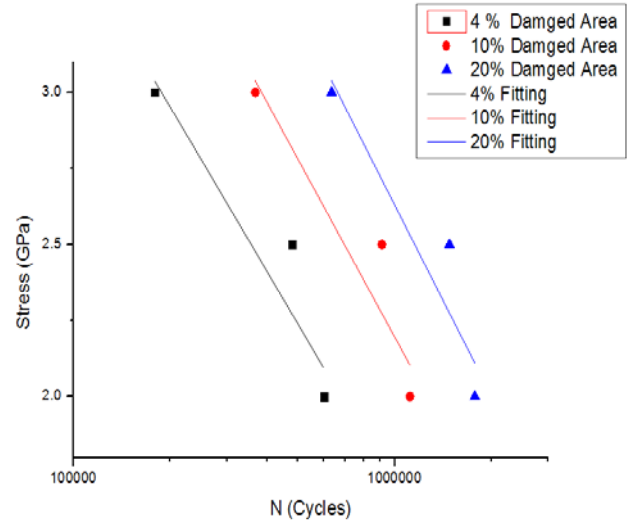


Fig. 5 The graph of Stress - N(cycles) about damaged area

앞에서 측정된 결과 값을 토대로 파손정도에 따른 S-N(Stress-Cycles) 그래프 Fig.5 를 표현할 수 있었다. 파손면적의 정도에 따라서 S-N 그래프가 기울기는 크게 변하지 않고 오른쪽으로 이동하는 형태를 확인 할 수 있었다.

하지만 파손면적의 변화를 확인하는 부분에서 많은 실험을 통해서 더욱 정확한 값을 측정 할 수 있도록 보완해야 할 것이다. 본 연구를 통해서 파손의 정도를 정략적으로 나타낼 수 있었다. 위의 결과로 각 분야에서 필요한 파손정도를 확인 하여 S-N 그래프를 확인 할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Aslantas, K., Tas, getiren, S., "A study of spur gear pitting formation and life prediction," Wear 257, pp1167-1175, 2004.
2. Michuetis Klaus, HoehnBernd-Robert, and Osfer Peter, "Influence of Lubricant on Gear Failures Test Methods and Application to Gearboxes in Practice," Tribotest journal 11-1, pp43-56, September 2004.
3. Zhou R.S., Cheng H.S., Mura T., "Micropitting in Rolling and Sliding Contact Under Mixed Lubrication," Journal of Tribology, pp605~613, October 1989.
4. 김종성, 주진욱, 이상돈, 조용주, "스피기어의 피팅 수명 예측 및 실험," Journal of the KSTLE Vol 25, No 6, pp.399-403, December 2009.
5. Hohn B.-R., Michaelis K., Otto H.-P., "Minimised gear lubrication by minimum oil/air flow rate", Wear266, pp461-467, 2009.
6. Love. A. E. H., "Stress Produced in a Semi-infinite Solid by Pressure on Part of the Boundary," Phil. Trans. Royal Society, A28, pp.377-420, 1929.