

프레팅 마멸 측정 및 예측

Measurement and prediction of fretting wear

*김응진¹, 김종성¹, 이상돈¹, #조용주²

*E. J. Kim¹, J. S. Kim¹, S. D. Lee¹, #Y. J. Cho²(yjcho@pusan.ac.kr)

¹ 부산대학교 정밀기계공학과, ² 부산대학교 기계공학부

Key words : Wear, Fretting wear , Archard equation, Contact stress, Wear coefficient

1. 서론

프레팅은 신뢰성과 내구성에 영향을 미치는 마멸의 한 종류이며, 리벳, 볼트, 핀 등과 같은 체결체와 부품의 체결시, 미세 상대운동에 의하여 프레팅 현상이 발생한다. 프레팅이 발생하면 체결부는 마멸 현상이 나타나고 이것은 피로균열 발생의 원인이 된다. 기계에 대한 일반적인 피로 및 손상허용에 대한 정량적인 평가 방법은 확립되어 있으나 프레팅 현상과 이에 의한 피로균열 발생수명의 정량적 평가 방법은 확립되어 있지 않다. 따라서 신뢰성 향상을 위한 프레팅 방지 방안과 프레팅에 의한 피로손상 평가기법의 확보가 필요하다.

본 연구에서는 기어용 강을 대상으로 하여 프레팅을 발생시킬 수 있는 장치를 구축하고, 실험함으로써 프레팅 마멸에 의한 깊이 측정과 예측을 확인하고자 한다. 이를 바탕으로 하여 향후 유사한 접촉 조건을 가지는 다른 부품의 프레팅 마멸분석에 사용하고자 한다.

2. 실험 장치 및 실험 조건.

기존 프레팅 실험에서는 미세 진폭을 모터의 구동으로 발생한 회전운동을 캠과 같은 기계적 방법으로 직선운동으로 변환하였다. 그러나 이러한 방법은 캠 제작상의 오차나 캠의 변형으로 인한 실험적 오차를 발생시킬 수 있다. 그래서 본 연구에서는 Piezoactuator와 같이 전압을 조절함으로써 stroke를 정확히 제어할 수 있는 실험 장치를 제작, 사용하였다.

Piezoactuator로 stroke를 발생시킬시 인장력에 비해 압축력이 떨어지는 단점이 있다. 이 점을 보완하기 위해 Fig.1 과 같이 인장력과 압축력이 동일하도록 판스프링 역할을 할 수 있는 base를 설계, 제작하였다.

Fig2 는 전체 실험 장치를 보여주고 있다. base 중앙에 원통형의 구멍을 낸 후 piezoactuator를 삽입하고 piezoactuator amp, function generator를 연결한다. piezoactuator amp로 전압을 조절하여 base 를 움직이게 하는 piezoactuator의 stroke를 결정하고, function generator는 주파수를 조절하여 단위시간당 총 왕복횟수를 결정한다.

기어용 강 재질의 반경 3mm ball, flat 형상 시편을 제작 후 base에 flat시편을, 하중장치 끝부분에 ball시편을 고정하여 Dead weight를 ball시편에 가한다. 이때 flat 시편은 base에 고정되어 piezoactuator에 의해 가해지는 stroke에 의해 좌우로 진동하게 된다. piezoactuator에 의해 시편이 진동될 때 gab sensor로 정확한 stroke를 측정한다.

실험 시편은 3차원 표면 조도 측정기로 측정하여 프레팅으로 인한 마멸을 확인하였다.

Table 1 Fretting test conditions

Normal load (N)	10
Stroke (μm)	10
Frequency (Hz)	10
Total number of wear cycles	5000, 10000
Room temperature ($^{\circ}\text{C}$)	20
Max Contact stress (MPa)	1400

3. 실험 결과

3.1 실험 결과

실험 하중, Stroke, frequency, Contact stress, cycle 수 등을 일정하게 고정된 후 수차례 실험을 하였다.

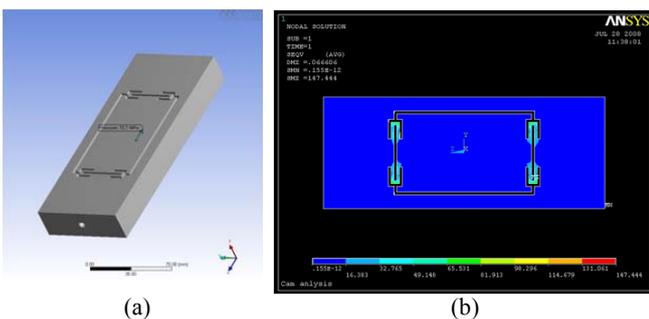
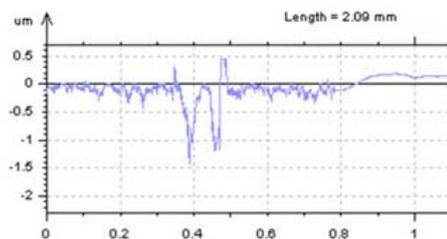
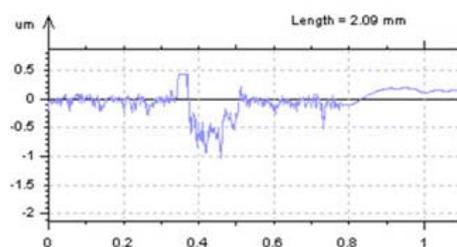


Fig.1 (a) base design by using ANSYS workbench analysis, (b) Confirmation of tension and compression through ANSYS analysis



(a) test #1(5000cycle)



(b) test #2(10000cycle)

Fig.3 Measured 2D surface profiles of worn flat.

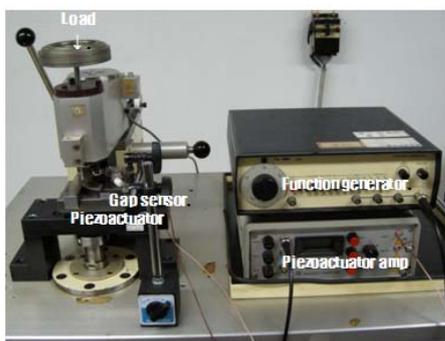


Fig.2 Experiment equipment

Fig.3 은 프레팅 마멸 실험 결과 나타난 마멸 flat 시편의 2D 표면 프로파일이다. (a) 중앙 부분에서 stick 영역이 발생함을 알 수 있고 점차 cycle수가 증가함에 따라 stick 영역이 감소하고 전반적으로 slip에 의해 마멸 영역이 증가함을 알 수 있다. 마멸된 flat 시편의 마멸 깊이를 측정, Archard 식에 대입하여 마멸 깊이, 수직 하중, stroke에 따른 wear coefficient를 구할 수 있다.[2]

$$d = k \int_0^{n_j} P_c \delta(n) dn$$

여기에서,
 k : wear coefficient
 P_c : local contact pressure
 n : number of cycle
 δ (n) : n cycle에서의 slip

실험으로부터 도출한 마멸 계수를 사용하여 목표 cycle에 따른 마멸 깊이와 마멸 형상을 예측할 수 있다.

3.2 마멸 형상 예측

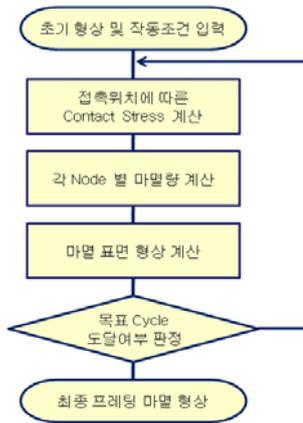


Fig.4 Flowchart for the fretting wear prediction

실험으로부터 도출해낸 마멸 계수를 Fig. 4의 프레팅 마멸 예측 프로그램의 초기 형상 및 작동 조건에 입력한다. 실험조건을 하중 10N, 접촉반경 58.6um, contact stress 1.4GPa인 flat-ball로 하여 각 2000, 4000, 10000cycle 후의 마멸 깊이를 예측하여 실제 실험 결과와 비교하였다.

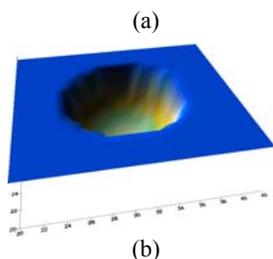
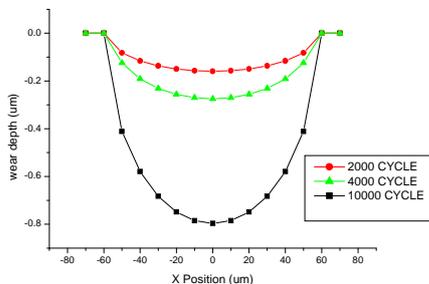


Fig.5 (a) Prediction of wear depth per cycle
 (b) Prediction of whole wear depth (10000cycle)

Fi3 와 Fig5의 10000cycle의 실험 결과와 예측을 비교하였을 때 마멸 깊이와 형상이 유사하다는 것을 알 수 있다. 그러나 이전 cycle의 경우, stick 영역 발생으로 마멸 형상의 결과와 예측에서 큰 차이를 보인다. 이것은 stick의 발생으로 인해 전반적으로 마멸량과 마멸되는 영역이 감소한 것으로 볼 수 있다.

4. 결론

실험 초기, 프레팅 마멸 현상을 확인하기 위하여 하중을 10N, 20N, 30N(contact stress 300MPa, 400MPa, 500MPa)으로 달리하여 실험을 하였다. 기어용 강은 일반강(SM45C)에 비해서 표면 경도가 약 3배정도 높기 때문에 동일한 조건의 일반강(SM45C)에서 발생하는 프레팅 마멸 현상을 기어용 강에서는 확인 할 수 없었다.

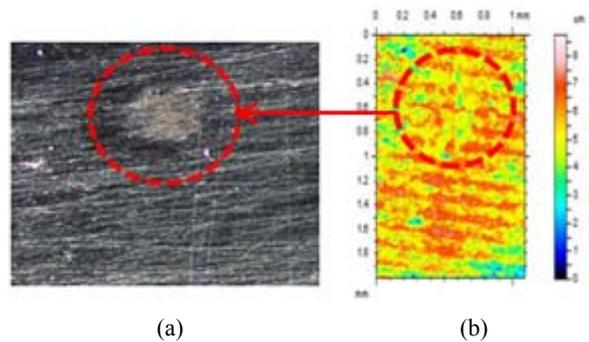


Fig. 1 (a) SEM micrographs of flat specimen.(10000cycle)
 (b) Measured 3D surface profile of unworn flat.(10000cycle)

초기 실험 결과를 바탕으로 하여 시편 표면의 프레팅 마멸 현상을 확인하기 위해 Contact stress를 1.4GPa로 증가시켜 실험을 하였고 그 결과 프레팅 마멸 현상을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 과정을 통해서 프레팅 마멸 현상은 동일 조건의 환경에서 모두 발생하는 것이 아니라 부품 재료 특성과 같은 요소에 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다. 향후 프레팅 마멸 예측과 같은 신뢰성 연구를 추진함에 있어서 재료의 특성과 작은 cycle동안에서 stick 영역 발생과 같은 특성을 고려해야 보다 정확한 예측 결과를 얻을 수 있을 거라 판단된다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. I.R. Mc Coll, J. Ding, S.B. Leen, "Finite element simulation and experimental validation of fretting wear", WEAR, 256, 114-1127, 2004.
2. C.H.H. Ratsimba, I.R. McColl, E.J. Williams, S.B. Leen, H.P. Soh, "Measurement, analysis and prediction of fretting wear damage in a representative aeroengine spline coupling", WEAR, 257, 1193-1206, 2004.
3. U. Bryggman, S.n Soderberg, "Contact conditions in fretting", WEAR, 110, 1-17, 1986.
4. Z.R. Zhou, K. Nakazawa, M.H Zhu, N. Maruyama, Ph. Kapsa, L. Vincent, "Progress in fretting maps", Tribology International 39, 1068-1073, 2006.
5. O. Vingsbo, "On fretting maps", WEAR, 126, 131-147, 1988.
6. Hiroki Endo, Etsuo Marui, "Studies on fretting wear: influence of rubbing surface materials and some considerations", WEAR, 253, 795-802, 2002.