

스플라인 커플링의 프레팅 마멸 예측 Prediction of fretting wear in a spline coupling

*이상돈¹, 김응진¹, 김종성¹, 조용주²

*S. D. Lee(tribostar@gmail.com)¹, E. J. Kim¹, J. S. Kim¹, # Y. J. Cho²

¹ 부산대학교 대학원, ² 부산대학교 기계공학부

Key words : Fretting, Wear, Spline, Contact stress, Vibration

1. 서론

본 연구의 목적은 스플라인 커플링 부위의 파손 중 접촉에 의한 마멸, 특히 미세진동에 의해 파손되는 프레팅 마멸분야에 대해 연구하고, 설계단계에서 프레팅 마멸량을 예측할 수 있는 기법을 구축하는데 있다. 프레팅 마멸량을 정량적으로 예측할 수 있다면, 부품 설계단계에서 작동조건, 재질, 형상 등의 조건에 따른 마멸량을 예측할 수 있게 됨으로 인해 경험적, 실험적 기법에 드는 막대한 시간과 비용부담을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

두 물체가 접촉하여 교차 또는 진동 하중이 수반될 때 μm 수준의 미끄럼 운동을 발생시킨다. 이러한 매우 작은 수준의 상대 미끄럼 운동을 제거하는 것은 매우 어렵다. 프레팅 마멸과 프레팅 피로는 모든 기계류에 존재하며 몇몇 다른 구성요소의 고장의 가장 큰 원인이 되기도 한다.

2. 프레팅 마멸실험

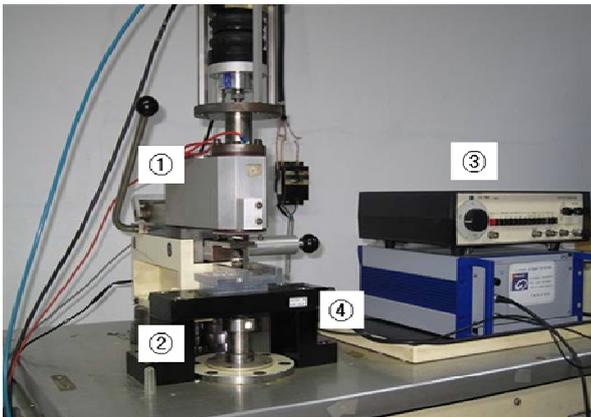


Fig. 1 Fretting Wear Tester

프레팅 마멸 시험을 위해서는 접촉한 두 물체의 상대변위, 즉 진폭, 진동수를 정밀하게 제어할 수 있으며 큰 힘을 낼 수 있는 가진기가 필요하다. 기존의 국내외 실험적 프레팅 연구들은 주로 캠 기구를 이용하거나, electric shaker 등을 이용하여 실험을 수행하였다. 그러나 이러한 방법들은 진폭 및 진동수를 자유롭게 조정하는데 힘들기 때문에 본 연구의 목적인 미소부위의 프레팅 마모계수 및 마찰계수를 구하는 데 있어서는 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구에서는 Piezo Acuator 와 자체 제작한 프레팅 지그를 이용하여 프레팅 마모시험기를 구축하였다.(Fig.1) 각 부위의 명칭은 다음과 같다.

- ① 공압 액츄에이터
- ② 프레팅 지그
- ③ 함수발생기
- ④ 피에조 액츄에이터

위의 장비를 이용하여 프레팅 마멸실험을 수행하였고, 마멸실험을 통해 재료의 프레팅 마멸계수를 획득하였다. Fig.2 에 시편의 접촉형태를 나타내었으며 접촉점의 형태

는 원접촉의 형태를 이룬다. 이와 같은 형태의 시편을 제작한 이유는 하나의 시편을 이용하여 여러 번의 시험을 수행하기 위해서이다.

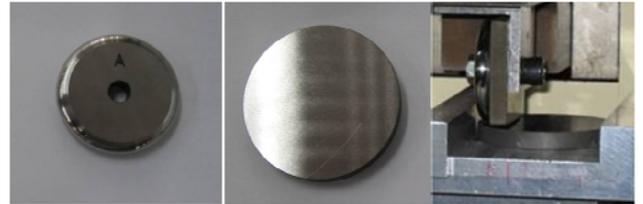


Fig. 2 Fretting Wear Test Specimens

프레팅 마멸계수는 실험후 프레팅 마멸흔을 3 차원 표면 조도측정기를 이용하여 측정 후 최대 마멸 깊이값으로부터 계산하였다. 이 때 접촉면이 구형상을 이루기 때문에 최대 마멸 깊이는 실험 전과 실험 후의 표면 profile 을 비교하여 구하였다. (Fig.3)

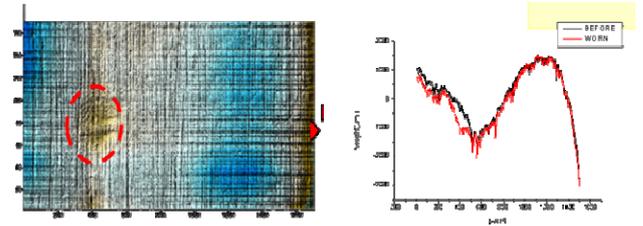


Fig. 3 Maximum Wear Depth Calculation

마멸된 flat 시편의 마멸 깊이를 측정, Archard 식에 대입하여 마멸 깊이, 수직 하중, stroke 에 따른 wear coefficient 를 구할 수 있다.[2]

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

여기에서,

k : wear coefficient

P_c : local contact pressure

n : number of cycle

$\delta(n)$: n cycle 에서의 slip

위의 식을 이용하여 프레팅 마멸량 예측치의 정확성을 결정하는데 있어서 가장 중요한 인자인 마멸계수를 결정하게 된다. 마멸계수값을 정확하게 계산하기 위해서는 접촉이 반복됨에 따라 접촉면의 형상이 달라지고, 이에 따라 P_c 값(local contact pressure), 즉 접촉응력이 변화되는 것을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 프레팅 마멸계수를 try and error 기법을 이용하여 실험을 통하여 구해진 최대마멸깊이와 일치하는 깊이가 되는 마멸계수를 구하였다.

Fig.4 에 프레팅 마멸시험의 결과를 그래프로 나타내었다. 일정 사이클마다 최대 마멸깊이를 구하였으며, 각 사이클당 3~4 회의 실험을 반복하였다.

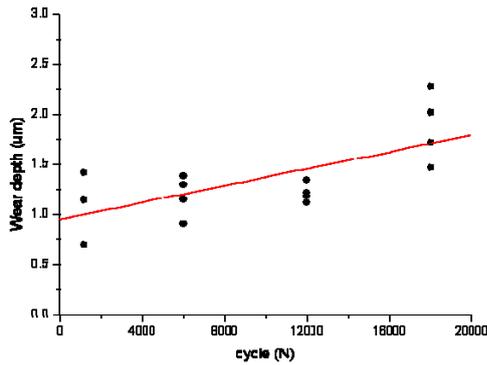


Fig.4 Fretting Wear Test Results

3. 프레팅 마멸량 예측

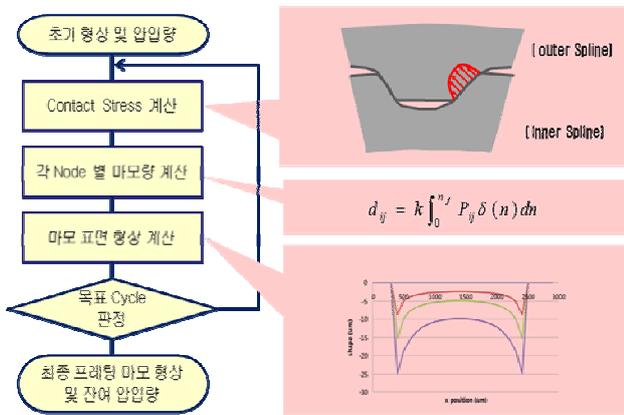


Fig.5 Fretting Wear Prediction Flow

Fig.5 는 프레팅 마멸량 예측기법의 계산 Flow Chart 이다. 계산 순서는 다음과 같다.

- 1) 스플라인 정보 및 압입량, 마멸계수 등의 필요 data 를 입력 받는다.
- 2) 접촉해석을 통해 스플라인 접촉부 각 노드의 접촉 응력을 계산한다.
- 3) 재료의 마멸계수, 각 노드의 압력, 이동거리를 곱하여 각 노드의 마멸량을 계산한다.
- 4) 스플라인부 형상좌표에 계산된 마멸량을 반영시켜 새로운 형상을 계산한다.

1)~4)까지의 계산단계를 목표 cycle 에 도달할 때 까지 반복 수행하여 특정 cycle 후 스플라인부의 형상변화를 계산하게 된다. 각 노드에서의 프레팅 마멸량은 그 노드의 접촉응력값, 마멸계수, 슬라이딩 거리의 곱으로 구해진다. 이러한 계산에서 프레팅 마멸량 계산의 가장 핵심이 되는 값은 접촉해석을 통해 계산된 스플라인 접촉부 각 노드의 접촉응력값이다.

기존의 다른 연구자들[1][2]은 이 접촉부의 응력을 계산하는데 상용 FEM 해석프로그램을 사용하였기 때문에 독립적인 프레팅 마멸 예측 프로그램을 제작하는데 어려웠고, 계산시간 또한 엄청나게 소요되었다. 그러나 프레팅 마멸의 발생은 주로 접촉면에서의 접촉응력값이 주요 인자이기 때문에 굳이 구조물 전체의 응력을 계산하기 보다는 접촉면에서 발생하는 접촉응력값만 계산하면 된다.

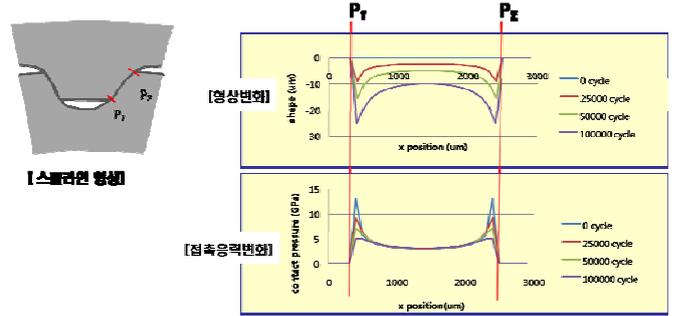


Fig.6 Fretting Wear Prediction Result

Fig.6 에 프레팅 마멸이 진행됨에 따라 스플라인 접촉부의 형상변화와 이에 따른 접촉응력의 변화를 계산한 결과를 나타내었다. 접촉 초기에는 스플라인 접촉부의 양 끝단에서 높은 접촉응력이 발생함으로 인하여 프레팅 마멸이 주로 끝단에서 발생하게 되고, 프레팅 마멸이 진행됨에 따라 양 끝단이 마멸되어 접촉응력이 떨어짐을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구를 통해 수행된 프레팅 마멸실험과 예측기법을 이용하여 스플라인부의 프레팅 마멸량을 예측하는 기법을 구축하였다. 일반적으로 스플라인 커플링의 경우 압입을 통해 두 물체를 결합하기 때문에 프레팅 마멸량이 곧 압입량 감소로 이어진다.

이러한 실험기법과 예측기법을 이용한다면 실제 스플라인부 커플링에서 사용시간, 즉 접촉사이클에 따라 프레팅 마멸량의 발생을 예측하여 스플라인 커플링의 수명을 예측할 수 있을 것으로 예상된다.

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.