

다축 피로 파라미터를 이용한 프레팅 피로 수명 예측에 관한 연구

곽동현*(경남대 대학원 기계설계과), 노홍래(경남대 대학원 기계설계과),
김진광(타이코에이엠피), 조상봉(경남대 기계자동화공학부)

A study on fretting fatigue life prediction using multiaxial fatigue parameters

D. H. Kwak(Mech. Eng. Dept., KNU), H. R. Roh(Mech. Eng. Dept., KNU),
J. K. Kim(Tyco AMP), S. B. Cho(Mech. Eng. Dept., KNU)

ABSTRACT

Recently, a lot of work and interest has been devoted to the development of multiaxial fatigue parameters for fretting fatigue life prediction. Many of these parameters have been reviewed in the literature for simple geometries like a cylinder-on-flat contact configuration. The purpose of this study was to estimate fretting fatigue life using critical plane approach which is one of the multiaxial fatigue theories.

Key Words : Fretting fatigue (프레팅 피로), Critical Plane approach (위험 단면법), Trailing edge (접촉 후미), SWT parameter (SWT 파라미터), FS Parameter (FS 파라미터)

1. 서론

프레팅 피로손상이 발생하는 부재에서는 일반 피로수명의 20~50%정도로 피로수명이 감소하며, 접촉부 내면에서 초기 균열이 발생하기 때문에 균열의 검출이 초기에 거의 불가능 한 점을 고려하면, 환경이 열악한 상황(고온-고압, 화학적 환경 등)에서 운용되는 구조물의 접촉부를 고려한 수명평가기법에 관한 연구는 신뢰성 확보, 적합한 정기검사 및 보수주기 설정 등의 면에서도 절실하고 시급한 과제라고 할 수 있다.

안정성 및 신뢰성의 확보가 절대적으로 요구되는 항공기 구조물 분야, 원자력 발전소의 구조물 분야, 고속철도 차량을 위시한 자동차 분야 및 대형 교량 및 건축 구조물에서 실제로 프레팅 마모 및 프레팅 피로 손상이 보고되고 있으며, 그 중요성의 인식과 함께 설계 단계에서 필요한 수명 평가 자료의 확보를 위한 노력들이 이루어지고 있다. 최근 프레팅 피로수명 예측을 위한 다축피로파라미터의 발전에 많은 연구와 관심을 가지고 있으며 이 파라미터의 대부분은 원통과 평판에서의 접촉문제와 같은 단순한 문제들로 여러 문헌들에 의해 검토^{1,2}되어 왔는데 본 연구에서도 다축피로파라미터를 프레팅 피로에 적용하여 수명을 예측 및 평가를 하고자 한다.

2. 위험 단면 다축 피로 이론

위험 단면법은 최대 손상이 발생하는 단면에 대한 다축 기준 접근법으로서 단면위에서의 응력과 변형률과 같은 물리량의 한 형태로 피로 수명 예측에 사용된다. 위험 단면법 중 가장 일반화된 2가지 이론 중에서 Szolwinski와 Farris³가 제안한 SWT 파라미터는 식(1)과 같고, Fatemi와 Socie⁴에 의한 FS 파라미터는 식(2)와 같다.

$$\sigma_{\max} \epsilon_a = \frac{(\sigma'_f)^2}{E} (2N_f)^{2b} + \sigma'_f \epsilon'_f (2N_f)^{b+c} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta \gamma_{\max}}{2} (1 + k \frac{\sigma_{n,\max}}{S_Y}) = [(1 + \nu_e) \frac{\sigma'_f}{E} (2N_f)^b + (1 + \nu_p) \epsilon'_f (2N_f)^c] \times [1 + k \frac{\sigma'_f}{2S_Y} (2N_f)^b] \quad (2)$$

Fig. 1는 위험 단면을 결정하기 위한 절차에 대한 개략도이고 프로그램은 수치해석 프로그램인 Mathematica를 사용하였다.

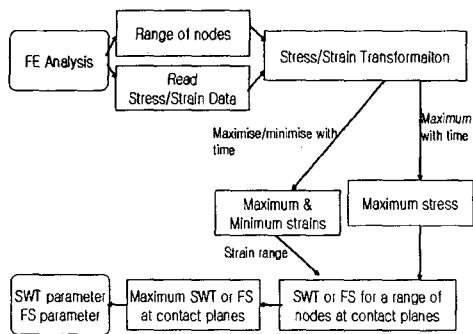


Fig. 1 Procedure to find the maximum SWT and FS value using the critical plane method.

3. 응력해석 및 수명평가

실린더-평판 프레팅 접촉모델은 Fig. 2와 같이 상하 대칭성을 고려하였다. 여기서 유한요소해석은 상용 프로그램인 ABAQUS를 이용하였다.

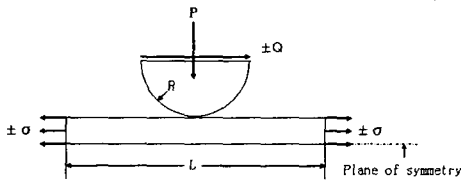


Fig. 2 Cylinder-on-flat contact and loading configuration.

Fig. 3은 접촉구간을 따라 평판의 표면 및 응력 σ_{11} , σ_{22} 와 τ_{12} 을 나타내었다.

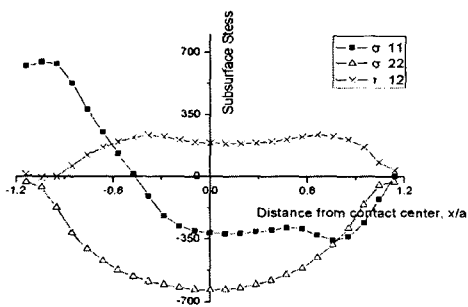


Fig. 3 Subsurface stress distributions throughout the contact region.

Fig. 4는 각각 접촉영역에 따른 SWT 파라미터와 FS 파라미터이다. Fig. 5는 SWT 파라미터를 근거로 한 접촉구간의 손상 분포를 나타내었다. 접촉 후미 부분이 가장 손상이 심하고 이 위치에서 초기균열이 예상된다.

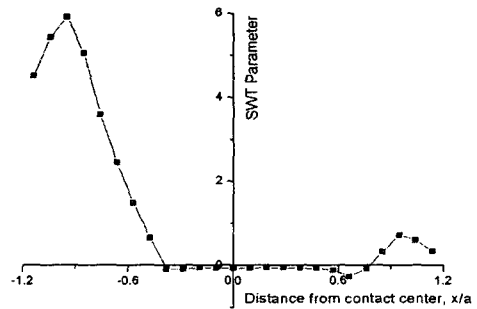


Fig. 4 Distribution of maximum SWT parameters over the contact surface.

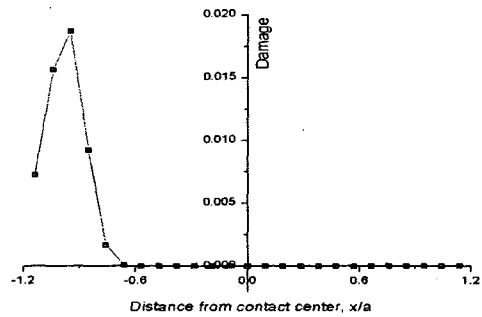


Fig. 5 Distribution of damage using SWT parameter over the contact surface.

4. 결론

다축피로이론으로서 위험 단면법을 직접 프로그래밍화하여 프레팅 피로에 적용하였다. 유한요소해석을 통하여 접촉부위별 응력과 변형률을 구했고 이에 해당하는 SWT와 FS 파라미터 분포를 통하여 위험 위치를 찾아냈다.

참고문헌

1. Lykins CD, Mall S, Jain V. An evaluation of parameters for predicting fretting fatigue crack initiation. *Int J Fatigue* 2000;(22):703-16
2. Araujo JA, Nowell D. The effect of rapidly varying contact stress fields on fretting fatigue. *Int J Fatigue* 2002;(24):763-75
3. Szolwinski MP, Farris TN. Mechanics of fretting fatigue crack formation. *Wear* 1996;198:235-8
4. Fatemi A, Socie D. A critical plane approach to multiaxial fatigue damage including out of phase loading. *Fat Fract Engng Mat Struct* 1988;11:149-65.