

## 스프링의 피로 파손 확률 분포 예측

김형익\*, 허용(성균관대 원), 박재실, 석창성(성균관대),  
장필수, 주재만, 강정훈(삼성전자)

주제어 : 확률분포, 내구수명시험, 와이블 함수, 수명 예측

기계 및 구조물의 설계시에는 허용응력 이하의 설계 조건으로 설계하지만 반복 작동을 하게 되는 기계 시스템의 경우에는 피로에 의한 파괴 현상이 나타나게 된다. 대부분의 기계 및 구조물은 사용시 변동 하중 상태에 놓이는 경우가 많게 되고 이로 인해 변동 응력이 작용되며 그 재료의 정적 강도보다 상당히 작은 값이라도 반복횟수가 증가함으로써 금속재료의 강도가 저하되어 결국 피로 파괴가 발생한다. 자동차, 항공기, 압축기, 펌프, 터빈 등과 같이 반복 작동을 하게 되는 기계 시스템에서 일어나는 파괴 현상 중에서 피로 파괴가 차지하는 비율이 점차 늘어나고 있다. 본 연구에서는 반복 작동되는 기계 시스템에 사용되는 스프링의 피로 강도에 대한 수명분포를 파악하고 이에 따른 신뢰성을 해석하고자 한다.

먼저, 스프링강에 대해 인장시험을 수행하여 항복강도, 인장강도 등의 재료 물성치를 확보하였다. 이러한 재료 물성치를 바탕으로 굽힘 피로시험을 수행하여 재료의 피로수명선도를 구하였다.

스프링의 응력 분포와 파손 위치를 예측하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석에 대한 타당성을 검증하기 위해 실제 스프링에 스트레인 게이지를 부착하여 유한요소해석의 변형률 결과와 비교하였다. 또한, UTM을 이용하여 반력을 측정하고 유한요소해석의 반력 결과와 비교하였다. 두 가지 검증 결과, 실제 스프링의 역학적 거동과 유한요소해석의 결과가 잘 일치하였다. 이러한 유한요소해석의 결과에 따라 변위에 따른 최대 응력을 구하여 내구수명시험의 응력축으로 환산하였다.

스프링이 작동될 조건보다 가혹한 조건으로 변위를 증가시켜 확률적인 내구수명시험을 수행하였다. 동일 변위 내에서 다량의 스프링 시편으로 내구수명시험을 수행하고, 2모수 와이블 함수를 이용하여 확률론적 분포를 구하였다.

반복응력이 작용하는 시스템에서 작용응력과 강도가 확률적인 분포를 갖는다고 가정하면, 작용응력과 강도간의 간섭에 의해서 작용응력이 강도를 초과하게 되면 시스템이나 부품에 파손이 발생한다. 따라서, 처음에는 충분한 안전 여유를 갖고 있어도 작용응력의 반복 횟수가 증가하게 되면 강도의 열화가 일어나 파손의 확률이 증가하게 된다. 이러한 증가 경향을 알아보기 위하여 각 수명별 확률분포를 구하였다. 각 확률 분포에 따른 와이블 함수의 모수를 계산하여 수명에 따른 경향을 구하였다. 와이블 함수의 각 모수는 수명의 증가에 따라 일정한 비율로 감소하여, 수명 예측의 가능성을 나타내었다.