

# 회전 핀에 의한 이동 하중에 따른 보의 대변형 수치 해석

정일섭\*(영남대학교 기계공학부)

주제어 : 보(Beam), 대변형(Large deformation), 이동 하중(Follower load), 수치해석(numerical analysis)

스프링은 변위에 상응하는 에너지를 저장하는 기계 요소로서 다양한 분야에 적용되고 있으며, 나선형(helical) 스프링, 와선형(spiral) 스프링, 비틀림 막대, 디스크(disk) 스프링, 판(plate) 스프링, 일정 하중(constant force) 스프링 등 다양한 종류가 있다. 근래 많이 사용되는 LCD 모니터 가운데 일부는 경사(tilt), 회전(pivot), 방향 전환(swivel) 등 모니터의 각도 변화가 가능하도록 제작되며, 이러한 각도 변화 시 사용자가 적절한 반력을 느끼도록 인간 공학적으로 설계되어 있다. 이러한 반력은 여러 가지 스프링을 장착하여 얻어질 수 있는데, 일부 제품에서는 회전(pivot) 반력을 위하여 소형의 판(plate)형 스프링이 모니터와 함께 회전하면서 스탠드에 고정된 핀과 부분적 접촉을 하여 반력이 발생되도록 설계되어 있다. 이 때, 접촉 하중의 크기나 사용 재질에 따라 스프링이 피로 파손 되거나 핀이 심하게 마멸되는 문제점이 발생될 수 있으며, 이를 방지하고 인간 공학적 설계 요건을 만족시키기 위하여는 스프링의 변형과 응력, 핀과 스프링의 접촉하중 등을 구하여 설계에 반영하여야 할 것이다.

본 연구에서는 소형 판 스프링을 고정된 외팔보로 모델링하고, 이로부터 격리된 중심축에 대하여 강체 핀이 회전할 때, 이로 인한 외팔보의 변형과 접촉하중을 구하였다. 이 때 보와 핀의 접촉점과 접촉하중은 핀의 회전에 따라 계속 변화하므로 일종의 이동 하중 문제가 된다. 이동 하중에 따른 보의 정적(static) 해석은 하중의 방향이 일정한 경우, 대부분 기존의 전통적인 보 이론을 적용하여 해를 구할 수 있다. 그러나, 보의 변형과 함께 하중이 계속 변화하는 경우에는 그 풀이가 간단하지 않은 경우를 쉽게 찾아 볼 수 없다. 가령, 변형에 따라 외팔보의 자유단에 가해지는 압축하중의 방향과 크기가 보의 변형에 따라 변화하는 경우의 안정성(stability) 문제(Beck's problem)에서는 변형을 함께 고려한 기하학적 면밀해(geometrically-exact solution)를 구하여야 한다. 본 연구의 단순화된 모델에 기하적 대변형성을 고려하여 보 이론으로 수식화하면, 아래와 같은 비선형 2차 미분 방정식을 얻게 된다.

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} + \cos(\theta - \theta_L + \alpha) \frac{N}{El \cos \alpha} = 0$$

여기서  $\theta$ 는 보의 기울기,  $\theta_L$ 는 접촉 위치에서의 보의 기울기,  $\alpha$ 는  $\tan^{-1} \mu$ 이며  $\mu$ 는 마찰 계수이다. 그러나, 이 때 접촉점의 위치를 의미하는  $x=L$ 과 그 점에서의 기울기  $\theta_L$ , 접촉 하중  $N$ 은 모두 풀이에 앞서 알 수 없는 양으로서, 보의 경계 조건 및 핀과의 상대적 위치 등을 감안하여 수치적 기법을 적용하여 구해야 한다. 그림 1은 이렇게 구하여진 보의 처짐 곡선의 예를 보인다.

본 수치해석 방법을 이용하여 보의 두께, 길이, 핀의 지름, 회전 반경 등 설계 변수의 영향을 쉽게 알아볼 수 있으며, 이는 모니터용 피벗 스프링의 설계에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

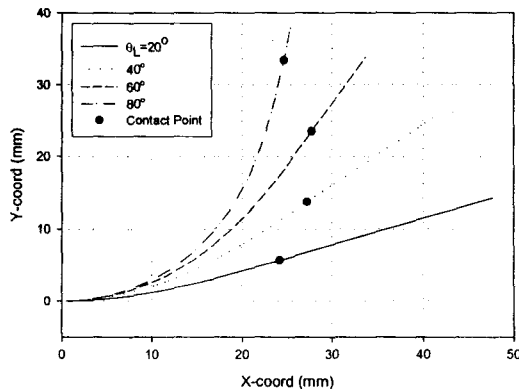


Fig. 1 Deflection curves of a spring loaded by a rotating pin