

컴플라이언스 기구를 이용한 다축 나노 위치결정 시스템의 개발 : PART I 설계 및 해석

박성령*(경북대 대학원 기계공학과), 양승한(경북대 기계공학부)

주제어 : 나노 위치결정 시스템, 컴플라이언스, 유연힌지, 나노 테크날리지, 병렬 기구, 압전 구동기, 변위증폭 구조, 다자유도

최근, 나노 위치결정 시스템이 우주항공, 광통신, 의학등 많은 분야에서 사용되고 있다. 이러한 나노 위치결정 시스템에 있어서 가장 중요한 것은 안정성이다. 열팽창과 가공에 의한 오차를 줄이기 위해 단일재료를 사용하고 대칭구조로 구성해야만 한다. 또한 나노 스케일의 분해능을 가지기 위해서는 스틱 슬립(stick-slip) 마찰이나 백래쉬(backlash) 기구가 없어야만 가능하다. 이러한 조건들을 만족하기 위해서 선행 연구자들은 유연힌지(flexure hinge)를 사용한 컴플라이언스 기구(compliance mechanism)를 제안하였고 이미 마이크로/나노 위치결정 시스템에 대한 연구와 개발이 이루어졌다. 하지만 단일재료에 유연힌지를 3차원 구조로 가공하기가 아주 어렵기 때문에 단일재료로 6자유도를 구성한다는 것은 어려운 일이다.

본 연구에서는 강인한 안정성과 6자유도를 가진 나노 위치결정 시스템의 설계 및 해석을 하였다. 본 시스템의 스테이지는 힘의 작용점을 정삼각형으로 구성함으로 열팽창 및 가공오차에 대해 강인하게 만들었다. 또한 전체 시스템은 원으로 구성하고 스테이지는 정삼각형으로 구성함으로 완벽한 대칭 구조를 구현했다. 6자유도를 구현하면서 가공의 어려움을 극복하기 위해서 2.5차원의 컴플라이언스 기구를 개발했다. 위치 결정을 위해 2개씩 3그룹의 구동기를 구성했다. 각 그룹에서 2개의 구동기를 대칭으로 구성하여 비대칭에서 오는 오차요소를 모두 줄였고 변위의 방향을 조합함으로 독립된 2개의 자유도를 구현했다. 일반적으로, 나노 스케일의 분해능을 가지기 위해 나노 위치결정 시스템에서 압전 구동기(piezo actuator)를 사용한다. 하지만 스택 형태의 압전 구동기라도 최대 300 μ m 정도의 변위만을 만들어내지 못한다. 본 시스템에서는 이를 극복하기 위해 변위 증폭 기구를 사용하였다.

벡터해석과 역기구학을 이용하여 스테이지의 위치와 각 압전 구동기의 변위에 대한 관계를 계산하였다. 탄성방정식을 구성하여 유연힌지의 크기를 최적화 하였고 라그랑지의 운동 방정식을 구한 후 동특성을 파악하였다. 변위증폭 기구를 사용하게 되면 전체 시스템의 고유진동수가 감소하게 되어 강성이 떨어지게 된다. 시스템의 강성을 높이기 위해 최적화를 이용하여 고유진동수를 계산하였다. 이 모든 과정을 3D 모델링을 한 후 유한요소법을 이용하여 검증하였다.

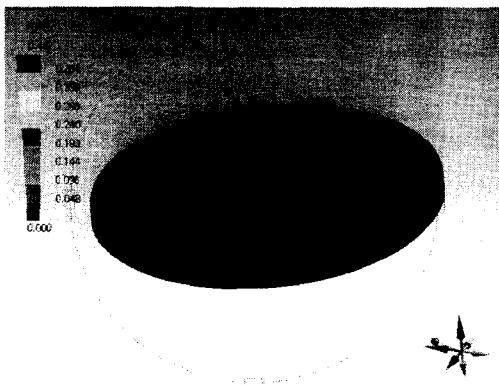


Fig. 1 Linear displacement of z direction

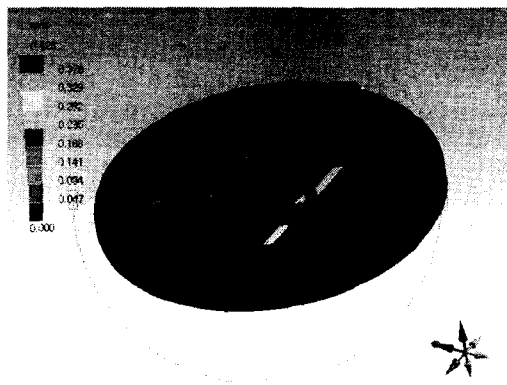


Fig. 2 Linear displacement of x direction