

# 전달함수를 이용한 공기베어링 스테이지의 운동오차해석

박천홍, 이찬홍, 이후상 (한국기계연구원 공작기계그룹)

주제어 : 운동오차해석, 공기스테이지, 전달함수, 공간주파수

본 논문에서는 앞선 논문에서의 해석 알고리즘을 확장하여 공기베어링 스테이지의 운동오차를 해석하고자 하였다. 공기베어링의 경우, 자려진동(pneumatic hammer)현상으로 인해 유정압베어링과는 달리, 강성이나 부하용량을 높이기 위한 포켓을 설치할 수 없다. 따라서 베어링 전면이 간극으로 구성되며, 이 경우, 각각의 패드에서 발생하는 반력의 중심이 모멘트의 중심과 일치하지 않게 되므로 이 모멘트가 운동오차에 미치는 영향을 고려할 필요가 있다. 이를 위해 해석에 있어서는 기존의 반력에 대한 전달함수 이외에도 모멘트 전달함수를 추가로 도입하여 운동오차 해석 알고리즘을 제안하고, 각각의 전달함수의 특성을 분석하였다. 제안된 해석법에 의한 결과와, 스테이지 전체를 모델링하여 운동오차를 해석하는 멀티패드해석법(MPM)<sup>3,4</sup>에 의한 결과를 비교함으로써 전달함수를 이용한 공기베어링 스테이지의 운동오차 해석법의 타당성도 이론적으로 검증하였다. 또한, 이를 바탕으로, 레일형상오차의 각 공간주파수가 운동오차에 미치는 영향을 나타내는 운동오차 전달함수를 도입하고, 이를 이용하여 다공질 공기스테이지를 대상으로 운동특성을 일반화하여 나타내하고자 하였다.

그를 위해 Fig. 1 과 같이 공기스테이지에서의 힘과 모멘트에 관한 정적 평형운동상태를 모델링하고 반력, 모멘트의 변화와 자세오차의 관계로부터 운동오차를 계산하는 알고리즘을 상세히 제시하였다. 또한 이 때의 전달함수를 구하는 데 필요한 다공질 공기베어링에서의 압력분포 및 정적 부하 특성의 해석법도 제시하였다.

본 논문의 결과를 요약하면 먼저, 반력과 모멘트에 관한 전달함수를 이용한 운동오차 해석법을 제안하고 이를 이용한 운동오차 해석결과를, 스테이지 전체를 모델링하여 운동오차를 해석하는 멀티패드해석법에 의한 결과와 비교한 결과, 두 결과는 매우 잘 일치하고 있어 제안된 해석법에 의해 패드내 모멘트의 변화를 고려한 운동오차를 효율적으로 해석할 수 있음을 이론적으로 확인하였다. 또한, 레일형상오차의 각 공간주파수가 직선 및 각운동오차에 미치는 영향을 나타내는 운동오차 전달함수를 이용하여 다공질 공기스테이지의 운동특성을 일반화하였으며, 그 결과, 직선운동오차는 레일길이비에 정수배 가운데 패드수의 배수를 제외한 주기 및 전달함수 자체의 크기가 0 에 근사한 주기에 의한 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있었다. 각운동오차의 경우에는 레일 길이비의 정수배 가운데 패드수의 배수 주기, 전달함수 자체의 크기가 0 에 근사한 주기 및  $(L/ml) \cdot (1.5 + mn)$ ,  $n=0, 1, 2, K$  로 대표되는 비정수배 주기에 의한 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있었다. 또한, 패드내 모멘트를 고려하는 경우, 각 공간주파수의 영향은 정량적으로 달라지나, 전달함수 자체에 의한 둔감주파수가 다소 변하는 것 이외에 위에서의 둔감주파수가 발생하는 패턴의 변화는 크게 없음을 확인하였다.

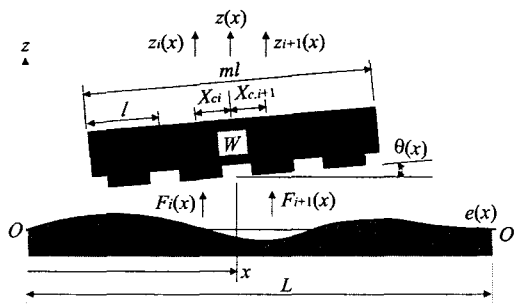


Fig. 1 Equilibrium state of an porous aerostatic stage

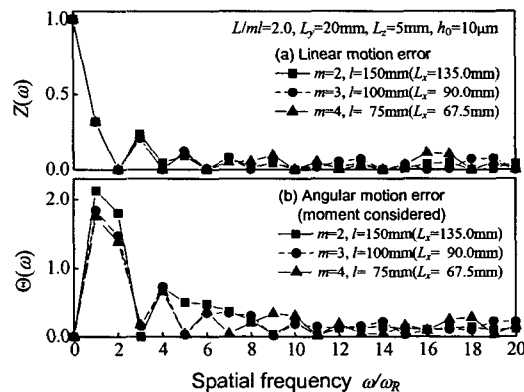


Fig. 2 Influence of spatial frequency components on motion errors according to the number of pad