

에어베어링을 이용한 회전형 스테이지 설계에 관한 연구

윤덕원*, 김진호*, 신동익*, 한창수(책임저자)**, 이연덕***, 정법교***

*한양대학교 대학원 기계공학과, **한양대학교 기계공학과, ***(주)넥스타테크놀로지

초록

에어 베어링은 높은 강성과 낮은 마찰력과 같은 장점들로 인하여 높은 정밀도를 요구하는 반도체나 디스플레이 장비의 선형 스테이지에 주로 사용 되어지고 있다. 하지만 현재까지 높은 정밀도를 요구하는 회전형 스테이지에는 아직까지 크로스 롤러링을 이용하여 가이드를 하고 있다. 본 논문에서는 높은 정밀도를 갖는 회전 스테이지의 설계를 위하여 구동 성능과 오차요소에 대한 성능에 대해 설계 목표를 제시 하였고 이러한 스테이지를 구현하기 위해 에어베어링을 적용한 회전형 스테이지를 설계하였다.

1. 서론

반도체와 디스플레이장비에는 시편의 이송이나 얼라인을 위해 높은 정밀도의 스테이지가 사용이 된다. 초정밀 스테이지에서 전통적인 모터와 기어, 베어링을 이용하면 각각의 요소에서 발생하는 오차로 인해 높은 정밀도를 구현하기 어렵기 때문에 마찰이 적고 가이드 면을 따라서 일정한 간극을 유지하며 움직이는 에어베어링이 사용 된다. 선형 스테이지 에서는 리니어 모터와 함께 에어 베어링을 사용하여 미국과 일본 한국의 많은 기업에서 높은 정밀도를 갖는 스테이지를 개발하였다. 하지만 회전하는 구동기에는 오래 전부터 고속 회전하는 스펀들에 에어베어링을 적용하여 높은 정밀도의 구동 성능을 얻은 반면 정적이거나 준 정적으로 구동하는 회전 스테이지에는 아직까지 구름 베어링이나 마찰 베어링 등이 사용되고 있다. 최근에 회전하는 구동 시스템을 위한 여러가지 형태의 다공성 에어베어링이 개발되어져서 회전 스테이지의 개발이 용이하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 다공성 에어베어링과 에어 부싱을 이용한 회전형 스테이지의 설계를 수행하였다.

2. 스테이지 목표 성능 결정

스테이지의 성능을 결정하는 요소 중 가장 중요한 것은 정밀도 이다. 스테이지의 정밀도에 대해 크게 2가지로 나누어 보면 구동하는 자유도의 운동에 대한 것과 구속되는 자유도의 운동에 관한 것으로 나눌 수 있다. 구동하는 자유도의 운동에 관한 것은 분해능, 절대 정밀도, 반복 정밀도 등으로 분류 할 수 있으며 구속되는 자유도에 대한 것은 회전형 스테이지의 경우 형상에 관한 오차와 함께 움직임에 대한 오차인 축방향 오차, 반경방향 오차, 기울임 오차 등 여러 가지 오차의 형태로 분류 할 수 있다.

구동에 대한 정밀도는 모터와 드라이버, 컨트롤러, 엔코더와 같은 구동에 관련한 부품들에 의해 결정이 된다. 이러한 부품들은 연구 개발이 어렵기 때문에 기존의 장비들을 이용하여 구성하여야 하며 그에 의해 목표 성능은 표 1과 같다.

표 1. 구동에 대한 목표 정밀도

Resolution	0.08 arc-sec
Repeatability	±0.5 arc-sec
Absolute accuracy	±12 arc-sec

원하지 않는 형태로 발생하는 구동에 대한 오차는 가공시 발생하는 오차와 조립에 대한 오차, 베어링, 가이드 등의 기구를 구속하는 장치에 의한 오차에 의해 주로 발생이 되며 반복적인 형태의 오차와

비반복적인 형태의 오차를 모두 포함하여 런아웃이라 한다. 이러한 런아웃은 구동 스테이지의 중요한 성능요소가 되며 이는 설계기법의 향상이나 생산기술개발로 인하여 개선 할 수 있다. 오차에 관한 목표 표로 하는 성능 요소는 표 2와 같다.

표 2. 오차에 대한 목표 정밀도

Axial runout	10 μm
Radial runout	20 μm
Tilt runout	± 100 arc-sec

3. 스테이지 설계

스테이지에 사용될 에어 베어링은 다공성의 에어베어링이다. 다공성 에어베어링은 오리피스 에어베어링에 비해 피치 모멘트 강성이 우수하고 예압을 가하기 용이하며 외부의 흠이나 굽힘에 강건하다. 적용 되어지는 에어베어링의 종류에는 에어부싱과 평면형 베어링이 있다. 에어 부싱은 반경방향의 선형 운동과 회전운동을 구속하게 되며 평면 베어링은 축방향의 선형운동을 구속하게 된다.

최근에 개발되어진 회전형 엔코더는 반도체 공정을 이용한 그리드를 사용하여 높은 분해능을 구현하게 된다. 요구되어지는 성능을 만족시키려면 엔코더 그리드의 간격이 20 μm 이며 엔코더의 직경이 200mm이상이어야 한다. 직경 200mm의 그리드 엔코더의 분해능을 0.04 arc-sec이며 분당 47회전의 속도로 각도 검출이 가능하다. 따라서 고속 구동이 불가능 하다는 제약 조건이 있지만 회전 스테이지의 경우 고속의 구동을 요구하는 것이 아닌 정적 혹은 준 정적으로 구동하기 때문에 문제가 되지 않는다.

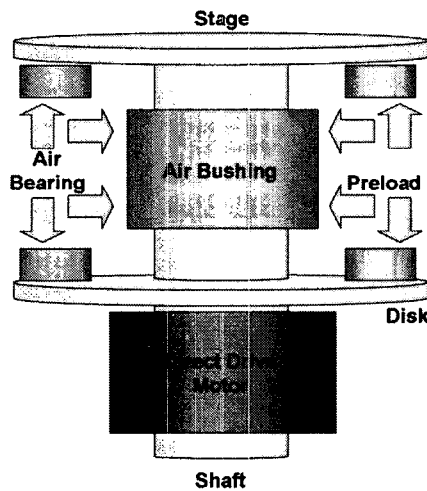


그림 1. 개념설계안

위와 같은 상황을 고려하여 그림 1과 같은 개념 설계안을 도출 하였으며 개념설계에서 고려한 사항은 다음과 같다. 스테이지의 활용도를 높이기 위해 중공이 가능한 구조를 갖게 하였으며 예압 구조에서 에어 부싱과 평면 베어링의 거리를 가깝게 함으로서 미세조정이 유리하게 하였고 기구의 지지부와 모터의 구동부를 분리함으로서 기구에 의한 오차와 모터에 의한 오차를 정밀하게 보정 할 수 있도록 하였다.

그림 2는 목표 성능에 맞게 부품을 선정 한 뒤 개념설계를 구체화 하여 3D CAD를 이용하여 디자인 한 모습이다. 상단부의 스테이지가 없어질 부분의 직경은 200mm이며 하단부의 직경은 280mm이고 스테이지의 높이는 260mm이다. 에어 부싱의 경우 O-ring으로 인해 미세한 조심이 가능하고 평면형 에어베어링의 경우 볼 스톨드를 적용하여 자동으로 면과 수직인 방향으로 정렬이 가능하도록 설계 되었다. 평면 베어링은 상단 스테이지를 지지하는 곳에 3개, 하단의 디스크를 지지하는 곳에 3개가 적용이

되었으며 각각 3개의 에어베어링이 꼭지점에서 평면을 정의하여 미세조정을 함으로서 가공과 조립시 발생하는 오차에 대해 보정이 가능하도록 하였다.

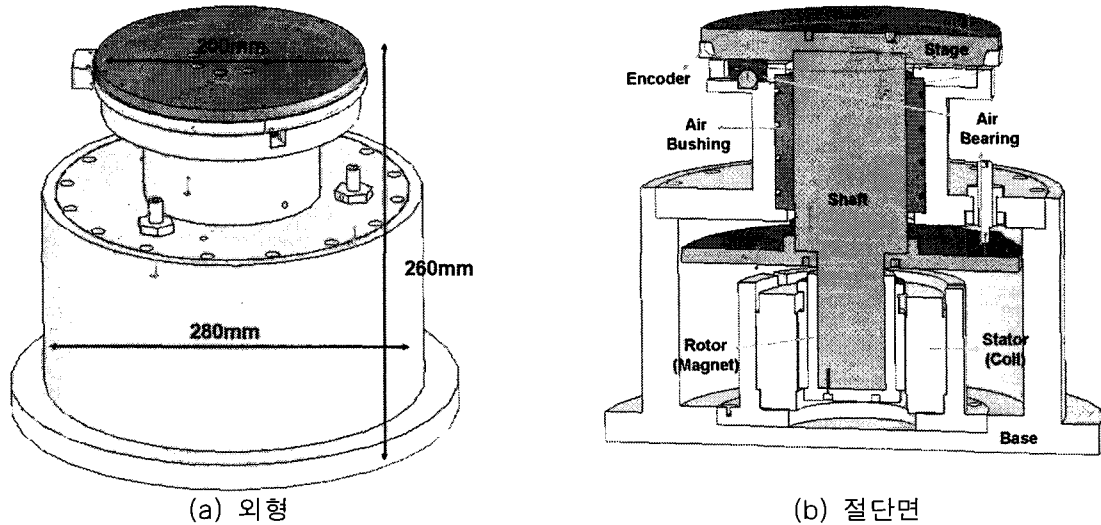


그림 2. 상세설계안

4. 결론

본 연구에서는 에어베어링을 적용한 회전 스테이지의 설계에 관해 연구하였다. 에어베어링은 회전 스테이지에서 요구되는 축방향 오차, 반경방향 오차, 기울임 오차를 최소화 하거나 보정하기 위해 적용 되었으며 이에 따른 정밀도에 대한 목표 성능에 대해 제시 하였다. 목표 성능을 만족시키기 위해 에어베어링과 에어부싱을 이용하여 기구의 구속에 대해 설계를 수행하였다. 앞으로 설계 되어진 스테이지를 제작할 예정이며 기계 가공시 발생하는 가공 오차에 대한 문제점을 에어베어링을 이용한 보정 장치를 이용하여 극복 가능할 것이라 예상된다.

후기

본 연구는 한국 산업 기술 재단에서 지원하는 산학협력중심대학육성사업단 기술개발과제 ‘에어베어링을 이용한 초정밀 회전형 다이렉트 드라이브 개발’에 의해 수행 되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] New Way Precision, “Air bearing design guide”, New Way Precision, pp. 11-13
- [2] 한동철, “초정밀 에어스핀들 유닛 및 에어 슬라이드 유닛의 개발”, 과학기술처, pp. 1-5