

자기베어링으로 지지되는 60,000rpm급 초원심분리기용 회전체 설계

Design of Rotor for Ultracentrifuge Supported by Magnetic Bearings

박철훈* · 최상규* · 함상용* · 성남제** · 이성혁***

Cheol Hoon Park, Sang Kyu Choi, Sang Yong Ham, Nam Je Sung and Sung Hyuk Lee

1. 서 론

원심분리기는 회전속도에 따라 6,000rpm이하의 저속원심분리기, 25,000rpm이하의 고속원심분리기, 80,000rpm이하의 초원심분리기(ultracentrifuge)로 나눌 수 있는데, 미국의 Thermo Fisher Scientific, Beckman Coulter, 일본의 Hitachi Koki 등의 업체에서는 100,000rpm이상의 초고속, 고성능의 의료용 초원심분리기를 출시하고 있다. 최근 국내에서도 의료장비시장이 확대됨에 따라 시장 경쟁력을 확보하여 세계시장 점유율을 높이기위한 초원심분리기의 개발이 진행되고 있다. 본 논문에서는 상대적으로 큰 불평형량에도 저진동, 저소음을 장점으로 가지는 자기베어링으로 지지되는 60,000rpm급 초원심분리기의 설계과정을 제시한다.

2. 초원심분리기용 회전체 설계

2.1 회전체 설계 사양

초원심분리기는 초고속 BLDC 모터와 드라이버, 샤프트, 진공챔버 내에서 시료를 장착한 채 회전하는 버킷(bucket)으로 구성되어 있다. 정격회전속도가 60,000rpm이지만 여유를 위해 70,000rpm(1,166Hz)를 설계 속도로 하여 목표로 회전체를 설계한다. 자기베어링으로 지지되는 경우 1차 후방 굽힘모드가 설계속도에서 30%의 분리여유를 가지게 설계하는 것이 안전하므로 목표 1차 후방 굽힘모드 주파수가 1,660Hz 이상이 되도록 회전체를 설계한다.

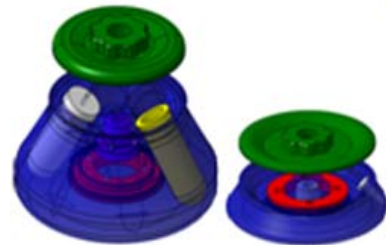


Figure. 1 Example of buckets in ultracentrifuges

2.2 회전체 해석

Figure 2에 설계한 초원심분리기용 회전체의 Layout을 나타내었다. 버킷은 최대한 경량화를 달성하기 위해 질량 3kg이하의 복합재로 제작한다. 목표 굽힘모드 주파수를 달성하기 위해 샤프트는 최대한 짧게 설계해야 한다. 샤프트는 SUS304HN으로 선정하였으며, 모터는 샤프트의 내부에 설치된 고정자가 샤프트의 내경에 부착된 자석을 회전시키는 외륜형으로 설계하여 회전체 샤프트의 길이를 최소화하였다. 자기베어링용 자성체 코어는 고속회전에 견딜 수 있는 강도를 가지도록 열처리 SCM440으로 선정하였다. 반경방향 자기베어링용 코어가 샤프트의 윗부분에, 반경방향/쓰러스트방향용 자기베어링 코어가 샤프트의 아랫부분에 설치된다.

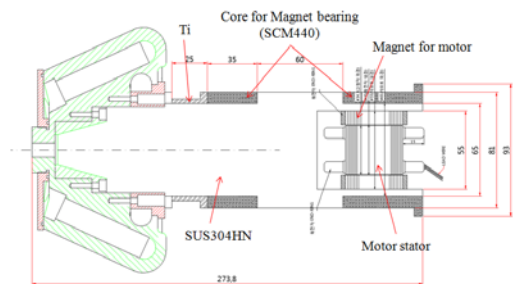


Figure. 2 Layout of rotor for ultracentrifuge

† 교신저자: 정희원, 한국기계연구원
E-mail : parkch@kimm.re.kr
Tel : 042-868-7980, Fax : 042-868-7611

* 한국기계연구원

** (주)Nex-D

*** (주)한랩

설계한 회전체에 대해 60,000rpm의 고속회전에 대한 원심력해석을 수행한 결과, SUS304 샤프트와 SCM440 코어간에 75um의 간섭량 조건으로 열박음할 경우 Figure 3과 같이 충분한 응력여유가 존재할 것으로 예측되었다.

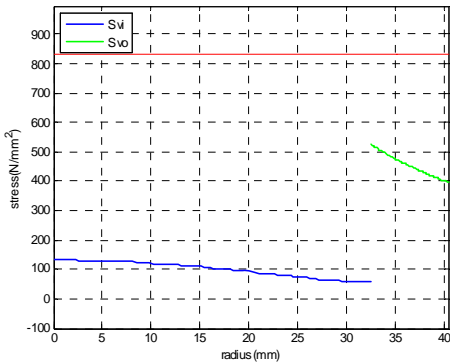


Figure. 3 centrifugal force analysis of rotor

Figure 4와 같은 초원심분리기 회전체에 대한 rotordynamics 모델을 해석한 결과 free-free 조건에 대한 1차 굽힘 모드 주파수는 2,167Hz, 자기베어링 지지조건에 대한 1차 후방 굽힘모드 주파수는 1,777Hz로 설계 목표 주파수인 1,660Hz에 비하여 충분히 여유있게 설계되었음을 확인하였다.

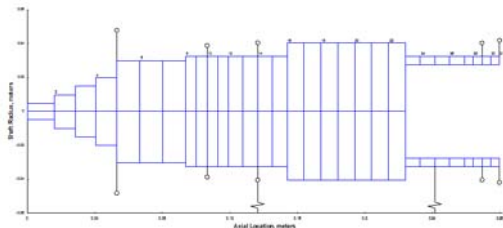


Figure. 4 Model for rotordynamics analysis

설계된 회전체의 질량은 약 11kg으로 ISO1940 G6.3 조건의 불평형량은 약 4.8 g-mm이고, G16 조건의 불평형량은 약 12 g-mm이다. 이 두 가지의 불평형량 조건에 대해 자기베어링 지지상태에서 0~70,000rpm 범위의 회전에서 발생하는 불평형응답을 예측하였다. 최대 불평형 응답은 약 13,000rpm에서 발생하였으며, G6.3조건에서는 Figure. 5와 같이 최대 1.3mm가 발생하고, G16조건에서는 Figure 6과 같이 3.3um가 발생할 것으로 예측되었다. 이는

센서의 해상도(resolution)이 아주 정밀하다는 가정에서 예측된 결과이므로 실제에서는 센서 해상도 및 노이즈의 정도에 따라 결과는 달라진다.

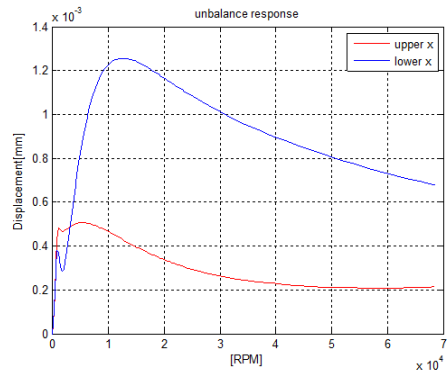


Figure 5. Prediction of unbalance response under ISO1940 G6.3 condition

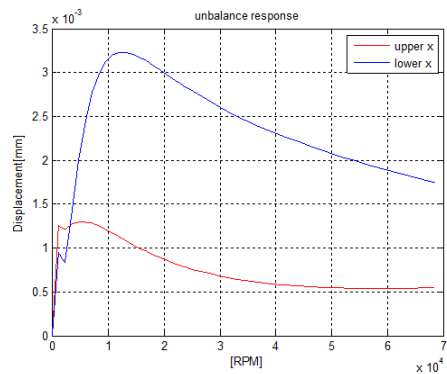


Figure 6. Prediction of unbalance response under ISO1940 G16 condition

3. 결론

자기베어링으로 지지되는 60,000rpm급 초원심분리기용 회전체를 설계한 후 원심력해석, 위험속도해석, 불평형응답해석을 수행하였으며, 동작상 무리가 없을 것으로 예측되었다. 향후 회전체의 구조를 자기베어링에 최적화하여 설계한 후, 제작하여 실험적으로 자기베어링과 회전체의 설계를 검증할 계획이다.