

다물체 동역학 기법을 이용한 초고속 유연회전체 제어

*나재봉¹, 이원창¹, 정훈형¹, 김재실¹, 김성원², 김광영²

¹창원대학교 기계공학과, ²한국기계연구원

Control of the high speed flexible-rotor system using multi-body dynamic method.

*J. B. Na¹, W. C. Lee¹, H. H. Joung¹, C. S. Kim¹, S. W. Kim², K. Y. Kim²

¹ Dept. of Mech. Eng., CNU, ² KIMM

Key words : Flexible rotor , Active control , Phase adjusting

1. 서론

회전체의 고속화 정밀화를 위해 자기베어링 또는 에어 베어링 등의 능동제어가 가능한 특수 베어링을 사용한 회전체 시스템의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 이로 인해 고속화 정밀화를 달성하기 위해 회전기계에서 자기베어링을 이용한 회전체 시스템에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 자기베어링은 일반 저널 베어링 또는 구름 베어링과 달리 운전 중 제어가 필요한 베어링이고 제어의 정확도는 베어링의 정밀도와 직결된다. 그러므로 자기베어링의 능동제어기법에 관한 연구와 제어모델 구축 및 시뮬레이션은 자기베어링의 개발 이후 지속적으로 이루어지고 있다.

한편 기계 시스템의 제어연구에 있어서 효율적인 제어 알고리즘을 개발 또는 적용을 위한 제어모델 구축과 제어 시뮬레이션은 필수적이다. 그리고 제어모델을 구축할 때 제어 알고리즘 구현 만큼 중요한 것이 실제 시스템의 정확한 플랜트의 모델링이라 할 수 있다. 이는 제어 모델에서 정확한 플랜트의 모델링이 이루어지지 않는다면 제어 알고리즘을 실제 적용 시 이론상의 제어효과를 발휘 한다고 장담할 수 없기 때문이다. 마찬가지로 자기베어링의 제어연구에 있어서도 정확한 시스템의 모델링도 선결 조건이 된다. 일반적으로 자기 베어링을 포함하는 회전체의 시스템 모델링은 일반적인 제어 기법에 따른 전달함수를 이용한 전달함수 모델, 그리고 상태공간 방정식을 이용한 상태공간 모델이 사용되어왔다. 이 두 모델은 컴퓨팅 시간 및 모델의 정확성 등에서 서로 장단점을 포함하고 있으며 좀더 정확하고 효율적인 회전체 모델 개발이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 초고속 회전체의 유연회전체 모델 작성 및 위상조절법을 이용한 제어를 위해 자기베어링-회전체 시스템을 유한요소법과 상용 전산동역학 프로그램인 ADAMS를 연동하여 모델링 하였으며, 모델의 검증에 위해 회전체 해석 프로그램인 ARMD를 이용하여 확인을 하였다. 또한 제어알고리즘인 위상조절법을 사용하여 Matlab simulink상에서 제어를 작성하였다. 제어모델을 구축하고 시뮬레이션을 통해 제어 가능성을 확인하고자 한다.

2. 유연축-Hybrid 베어링 시스템의 동적 모델 개발

회전체 모델의 주축의 직경은 60mm이고 총길이는 360mm 이다. Fig. 1은 주축의 직경 및 길이를 나타내고 있으며 주축의 중앙에 Built-in motor가 장착이 되고 2군데의 베어링지지 포인트가 있다.

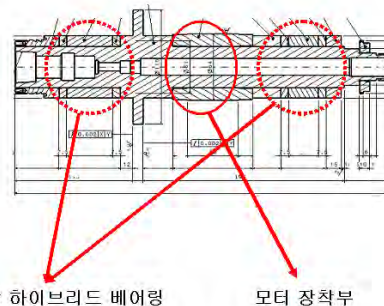


Fig. 1 Drawing of the shaft and bearing support point

주축의 모델을 구성하기 위하여 FE Tool인 ANSYS를 이용하여, 주축의 모드 해석 결과를 ADAMS에 Import시켜 유연체 모델을 구성하였다. ANSYS를 이용하여 모델을 구성하는 목적은 ADAMS상에서 유연회전체를 구성하면 각 노드들의 배열이 불규칙하여 해석 수행 시 정확한 결과를 얻을 수 없다. 반면 ANSYS의 모드 해석 결과를 이용하여 규칙적인 노드배열을 가지는 유연회전체 모델을 구성할 수 있으며, 해석 수행 시 정확한 결과를 얻을 수 있다. Fig. 2는 유연회전체를 모델링하는 과정을 도시하였다.

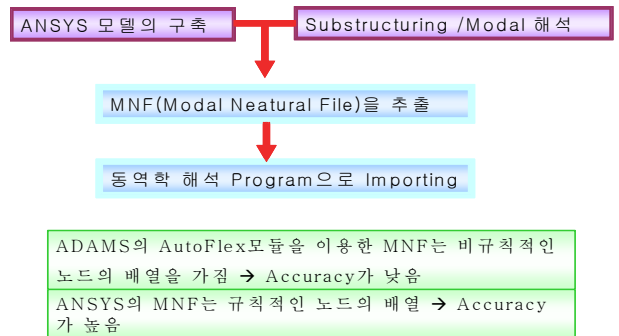


Fig. 2 Process of flexible model

또한, FEM의 해석 결과를 검증하기 위하여 회전체 해석 Tool인 ARMD와 모드해석 결과를 검증하였다.

Table 1 The result of ANSYS analysis

	Natural Freq.	RPM(rev/min)
1 모드	558.28	33496.8
2 모드	750.17	45010.2
3 모드	1752.0	105120
4 모드	4014.6	240876

Table 2 The result of ARMD analysis

	Natural Freq.	RPM(rev/min)
1 모드	597.18	35831
2 모드	1438.6	86281
3 모드	1696.4	101790
4 모드	4047.1	242830

ANSYS와 ARMD에서의 추출된 모드를 확인한 결과 1차 모드가 비슷한 영역에서 발생하였으며, 이 해석을 바탕으로 동적모델을 구축하여 동역학적 해석을 수행하였다.

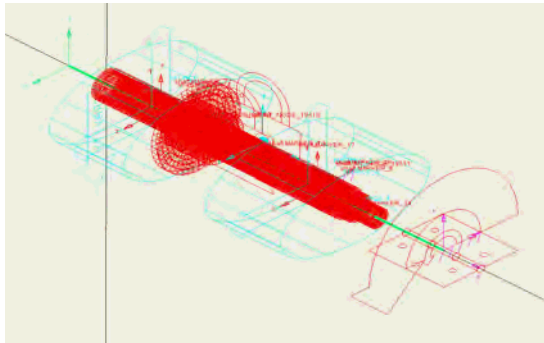


Fig. 3 Flexible body model of rotor system

유연체 모델의 베어링 요소는 ADAMS의 Bushing을 사용하여 K,C 값을 입력하였으며, Motion은 포인트 모션을 사용하여 모터의 위치에서 RPM을 조절하였다. 전/후방 베어링의 중심부에 Massless를 달아서 출력되는 변위값을 측정하였다.

3. 정밀제어 알고리즘의 동적 제어 구현

위상조절법은 전문가 시스템을 제어 알고리즘으로 적용하기 위한 선행 연구로써 전문가 시스템의 추론엔진 부분의 자율 학습 자료를 위한 근거와 자료의 데이터베이스를 위한 좋은 경향에 대한 이론적 자료로 시도되었다. 본 연구에서는 전문가 시스템을 배제하고 특정 속도에서의 위상조절법이 어떠한 제어 성능을 구현 하는지에 대한 연구를 중심으로 한다.

주기적인 응답이 예측되는 상황에서 Fig. 4와 같이 예측되는 응답의 반주기 성분의 제어력을 입력시킨다면 진동방생원인에 지대한 영향을 미치는 주기성분의 대부분을 제거 할 수 있다.

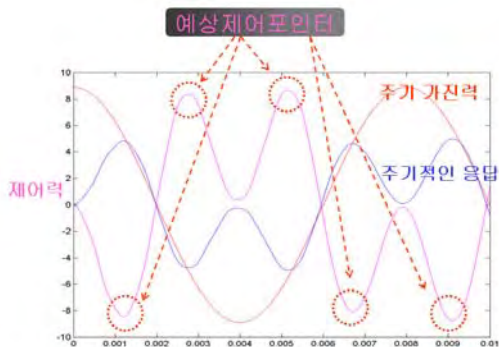


Fig. 4 Forcing point for control and periodical response

구축된 유연축을 ADAMS control을 이용하여 플랜트를 만들고, 이를 Matlab의 Simulink에서 Fig. 5와 같이 위상조절기가 포함된 제어를 구축하여 시뮬레이션 상에서 제어를 하였다.

Fig. 5는 위상조절기가 포함된 제어 모델로서 4채널 제어계를 형성하고 있다. 입력과 출력이 모두 4채널 이므로 플랜트의 각 축에 연결된 센서신호를 센서 계인을 통과하여 증폭하고 이를 목표치와 비교하여 서브시스템으로 구성된 위상조절기를 통과한 제어 신호를 자기베어링의 위치강성과 과위앰프의 계인

값을 곱하여 플랜트에 자기력으로 입력되게 된다.

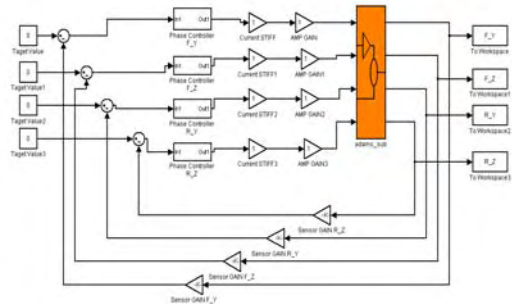


Fig. 5 Controller of the SIMULINK

4. 결론

하이브리드 베어링을 적용한 초고속 회전체 시스템을 다물체 동역학 해석 도구인 ADAMS를 이용하여 유연 회전축으로 모델링한 플랜트를 Matlab의 Simulink와 연동하여 제어한 결과 위상조절 알고리즘을 이용한 경우 50%의 제어효과가 있었다.

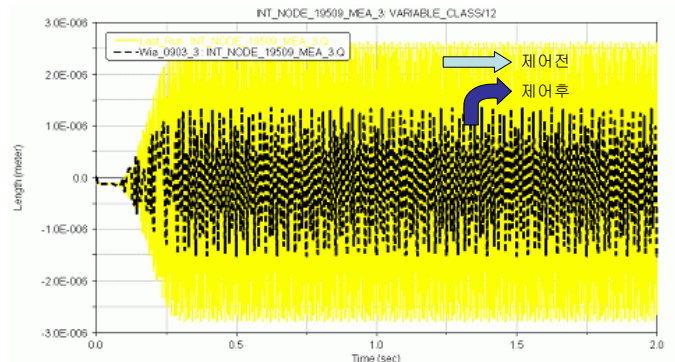


Fig. 6 Control of the 40000RPM

제어모델 구축을 위해 변경된 주축 시스템을 기반으로 ANSYS와 ADAMS를 연계한 정밀 유연축 Hybrid_bearing 시스템의 동적 모델 구성하였으며, 동적 모델의 신뢰성을 확보하기 위하여 ANSYS와 ARMD를 이용하여 모드를 분석하고, 개선된 유연축을 플랜트로 한 Simulink 연동 제어 모델 구축 및 제어기 성능 확인하였다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신 사업 [RTI04-01-03] 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 이원창, 김성원, 김재실, 최현오, “동역학 S/W와 연계한 회전체 제어의 모델링에 관한 연구,” 한국정밀공학회 추계 논문집, pp. 280-283, 2005.
- 이원창, 김성원, 김재실, 최현오, “위상조절법에 의한 유연회전체의 능동제어에 관한 연구,” 한국정밀공학회 춘계 논문집, pp. 906-909, 2005
- 나재봉, 이원창, 김성원, 김재실, “초고속 유연회전체의 위상조절법을 이용한 능동진동제어 시뮬레이션,” 한국정밀공학회 춘계논문집, 2006.