

회전체동역학 분야 연구동향

하태웅*

1. 서 론

2001년도 회전체 동역학 분야의 주요 연구동향을 요약하여 소개한다. 여기서는 광범위한 회전체 동역학 분야중 유체기계와 관련된 부분만으로 국한시키고, 이와 관련된 국내에서 발행되는 유력 학회지인 대한기계학회논문집 A권, KSME International Journal, 유체기계저널, 한국소음진동공학회논문집, 윤활학회지 및 KSTLE International Journal에 발표된 논문을 중심으로 분석하였다. 유체기계와 관련된 회전체 동역학 분야의 연구는 크게 로터-베어링으로 구성된 회전체 시스템의 동역학적 해석연구 분야와 회전기기 요소연구 분야로 나눌 수 있으며, 그 외 회전기기의 동역학적 특성에 영향을 줄 수 있는 현상들에 대한 연구가 있다. 2001년 발표된 이 분야의 연구논문은 총 42편이었다. 그 중 회전체 시스템의 동역학적 해석연구와 관련하여 9편의 논문이 발표되었고, 회전기기와 관련된 논문은 32편, 그 외 회전기기의 동역학적 특성에 영향을 줄 수 있는 현상에 관한 논문이 1편 발표되었다.

최근의 회전기계 시스템은 단위 중량 당 에너지 효율을 높이기 위하여 고속화, 소형화, 경량화 추세이며 이에 따른 엄밀한 동역학적 해석 기술과 고속화 기술 및 신뢰성 확보 기술이 요구되고 있다. 국내의 산업 전반에 걸쳐 사용되고 있는 펌프, 압축기, 터빈 등 산업현장과 연계된 연구개발과제 및 기초연구과제들이 수행되면서 이 분야의 연구가 비교적 활발히 진행되고 있다. 다음은 2001년도 발표된 논문을 중심으로 분야별 연구동향을 정리하고자 한다.

2. 회전체시스템의 동역학적 해석연구

블로어에서부터 대형 스팀터빈에 이르기까지 수많은

회전기계는 운전시 안정성(stability)과 신뢰성(reliability)을 확보하기 위하여 회전체 시스템의 굽힘 및 비틀림 진동 해석에 의한 체계적 설계검증이 필요하다. 회전체 시스템의 임계속도(critical speed), 모드(mode), 시스템의 안정성(stability), OSI(onset speed of instability) 등을 예측하고 판단하기 위하여 유한요소법을 근간으로 2축 회전체(dual rotor), 축력 및 기어의 연성효과, 자기력 및 유체력 등을 포함한 해석법의 개발 및 개선을 위한 노력이 지속적으로 진행되고 있다.

회전체 시스템의 동역학적 해석연구 분야는 크게 회전체 시스템의 동역학적 해석 기법에 관한 연구, 해석기법을 실제 회전기계에 적용한 설계연구, 그리고 회전기계 시스템 운전 모니터링 및 이상유무 상태진단 연구로 나누어 볼 수 있다. 우선 회전체 시스템의 동역학적 해석 기법에 관한 연구는 초기변형의 영향,⁽¹⁾ 횡-비틀림 연성 효과⁽²⁾ 및 지지 구조물의 동특성 효과⁽³⁾에 관한 3편의 논문이 발표되었다. 해석기법을 실제 회전기계에 적용한 설계연구는 tie shaft를 갖는 가스터빈,⁽⁴⁾ 터보 펌프^{(5),(6)} 및 사판식 압축기⁽⁷⁾의 회전체 동역학적 특성 해석 등 4편이 발표되었고, 회전기계 시스템 운전 모니터링 및 이상유무 상태진단 연구로는 2편^{(8),(9)}이 발표되었다.

3. 회전기기 요소 연구

회전기기 중 고속회전에 따른 회전체 시스템의 동특성에 영향을 주는 요소기기로는 베어링, 실, 댐퍼, 임펠러 슈라우드 등이 있다. 이 요소기기들은 고속회전에 따른 작동유체의 전단력에 기인한 불안정성을 유발 시킴으로 해서 회전체 시스템 전체의 불안정화 원인이 됨으로, 이 요소기기들의 동특성해석 및 설계에 관한 연구가 지속되어 오고 있다. 베어링에 관한 연구로는 저널 베어링에 관한 연구가 비교적 많이 이루어졌는데 공기를 윤활제로 하는 공기저널(포일)베어링,^{(10)~(16)} 공기윤활 텀딩 패드 베어링⁽¹⁷⁾과 오일저널 베어링,^{(18)~(22)}

* 경원대학교 건축설비·기계공학부
E-mail : twha@mail.kyungwon.ac.kr

후로팅 링 제어널 베어링,^{(23)~(25)} 스러스트 저널 베어링⁽²⁶⁾ 및 볼 베어링의 waviness의 영향^{(27)~(28)} 등 19편의 논문이 발표되었다.

실에 관한 연구로는 주로 annular type 실에 관련된 연구가 많이 이루어 졌는데 annular type 실의 기초연구,^{(29)~(30)} O-ring seal,⁽³¹⁾ stepped type 래버린스 실(labyrinth seal),⁽³²⁾ 후로팅 링 실(floating ring seal),⁽³³⁾ 편심된 실(eccentric seal)⁽³⁴⁾ 등 6편의 논문이 발표되었고, 미케니컬 페이스 실의 윤활성능 해석⁽³⁵⁾에 관한 연구도 1편이 발표되었다.

댐퍼는 회전체의 진동감쇠 요소로서 회전기계의 주 회전수에서 회전체의 안정성을 향상시키기 위해 여러 연구자에 의해 이론적 및 실험적인 검토가 이루어져 왔다. 전기 점성유체(ER)를 사용한 스퀴즈 필름 댐퍼 및 마그네틱 댐퍼^{(36)~(39)}와 점판 스프링 댐퍼^{(40)~(41)}에 관한 연구 등 6편의 논문이 발표되었다.

그 외 회전기계의 동역학적 특성에 영향을 줄 수 있는 현상에 관한 연구로 로터의 rubbing에 관한 논문⁽⁴¹⁾이 1편 발표되었다.

4. 결 론

2001년도 회전체 동역학 분야의 주요 연구동향을 파악하기 위해서 이 분야와 관련된 국내에서 발행되는 유력 학회지인 대한기계학회논문집 A권, KSME International Journal, 유체기계저널, 한국소음진동공학회 논문집, 윤활학회지 및 KSTLE International Journal에 발표된 논문을 중심으로 유체기계와 관련된 부분만으로 국한시켜 회전체 시스템의 동역학적 해석연구 분야, 회전기기 요소연구 분야 및 그 외 회전기계의 동역학적 특성에 영향을 줄 수 있는 현상들에 대한 연구분야로 나누어 분석하였다. 이 분야의 연구논문은 총 42편이었으며 그 중 회전체 시스템의 동역학적 해석연구와 관련하여 9편, 회전기기와 관련하여 32편, 그 외 회전기계의 동역학적 특성에 영향을 줄 수 있는 현상과 관련하여 1편이 발표되었다. 관심 있는 독자의 편의를 위하여 42편의 논문을 참고문헌에 모두 열거하였다.

이 외에도, 국내 연구소를 중심으로 새로운 관심사로 떠오르는 지능형 회전기기 시스템과 초소형 회전기기 시스템에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 시스템의 운전 중 진동상태를 감지하고 이에 따른 적절한 제어가 가능한 메카니즘을 갖는 “스마트 베어링”의 연구나 최근 MEMS(micro electro mechanical system) 분

야가 급속히 확산됨에 따라 MEMS기술을 응용한 초소형 회전기기를 위한 “마이크로 베어링”에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다 또한 초고속 벨런싱 시험평가 및 회전기계 진동소음 및 신뢰성 시험평가에 관련된 연구도 꾸준히 진행되고 있다.

참고문헌

- (1) Hong, S. W., Seo, Y. G. and Park, J. H., 2001, “A Study on the Synchronous Response of General Rotor-Bearing Systems due to Initial Deformation,” KSME International Journal, Vol. 15, No. 9, pp. 1218~1226.
- (2) 이안성, 하진웅, 최동훈, 2001, “증속 기어 전동 로터/베어링 시스템의 황-비틀림 연성 유한요소 로터다이나믹 해석,” 한국소음진동공학회지, 제11권, 제1호, pp. 82~88.
- (3) 최복록, 박무진, 2001, “지지 구조물의 동특성을 고려한 회전축 모델의 진동해석,” 대한기계학회 논문집 A권, 제25권, 제4호 pp. 555~563.
- (4) Lee, A. S. and Lee, Y. S., 2001, “Rotordynamic Characteristics of an APU Gas Turbine Rotor-Bearing System Having a Tie Shaft,” KSME International Journal, Vol. 15, No. 2, pp. 152~159.
- (5) 이용복, 김창호, 박현덕, 하태웅, 우유철, 2001, “탄성 링을 갖는 볼 베어링 지지의 터보펌프 임계속도에 관한 연구,” 유체기계저널, 제4권, 제2호, pp. 22~28.
- (6) 이용복, 박현덕, 김창호, 하태웅, 2001, “고압 실이 장착되어 있는 터보 펌프의 동적 안정성 및 누설 특성에 관한 연구,” 한국소음진동공학회지, 제11권, 제8호, pp. 322~330.
- (7) 김태중, 2001, “외부 가진력을 고려한 사판식 압축기 회전축-베어링 계의 동적 거동 해석,” 한국윤활학회지, 제17권 제1호, pp. 56~63.
- (8) 유송민, 김영진, 박상신, 2001, “저어널 베어링으로 지지된 회전축의 이상상태 진단을 위한 전문가 진단 시스템 개발-로타시스템의 비선형성 특성 진단을 위한 연구,” 한국윤활학회지, 제17권 제2호, pp. 153~161.
- (9) 유송민, 김영진, 박상신, 2001, “저어널 베어링으로 지지된 회전축의 이상상태 진단을 위한 전문가 진단 시스템 개발,” 한국윤활학회지, 제17권 제3호, pp. 244~250.

- (10) 박용식, 성인하, 김대은, 2001, “공기 정압 베어링에서 열의 영향에 따른 베어링 특성에 관한 연구,” 한국윤활학회지, 제17권, 제1호, pp. 10~15.
- (11) 조성욱, 임윤철, 2001, “공기윤활 웨이브 제어널 베어링의 부하 특성에 관한 연구,” 한국윤활학회지, 제17권, 제1호, pp. 28~32.
- (12) 이용복, 이남수, 최동훈, 김창호, 2001, “공기윤활 범프 제어널 베어링의 부상 특성에 관한 연구,” 한국윤활학회지, 제17권, 제6호, pp. 441~446.
- (13) 이종렬, 이준석, 성승학, 이득우, 2001, “2열 외부가압 공기 제어널 베어링에서 급기구 위치에 따른 동적계수에 관한 실험적 연구,” 한국윤활학회지, 제17권, 제6호, pp. 476~481.
- (14) Park, S. W. and Rhim, Y. C., 2001, “A Study on the Air-Lubricated Herringbone Groove Journal Bearing by Finite Element Method,” KSTLE International Journal, Vol. 2, No. 1, pp. 46~54.
- (15) 김종수, 이준형, 최상규, 2001, “공기윤활 포일 베어링의 특성해석,” 한국윤활학회지, 제17권, 제2호, pp. 97~108.
- (16) 이용복, 김태호, 김창호, 이남수, 장건희, 2001, “공기윤활 다열 포일 제어널 베어링의 회전축 부상 특성에 관한 연구,” 한국윤활학회지, 제17권, 제4호, pp. 290~296.
- (17) 김성국, 김경웅, 2001, “공기윤활 구면 킬팅 패드 베어링에 관한 연구,” 한국윤활학회지, 제17권, 제2호, pp. 116~123.
- (18) 전상명, 장시열, 2001, “변화하는 밀도와 비열을 고려한 고속 제어널 베어링의 열유체 유효해석,” 한국윤활학회지, 제17권, 제4호, pp. 297~306.
- (19) Oh, S. M. and Rhim, Y. C., 2001, “The Numerical Analysis of Spindle Motor Bearing Composed of Herringbone groove Journal and Spiral groove Thrust Bearing,” KSTLE International Journal, Vol. 2, No. 2, pp. 93~102.
- (20) Chun, S. M., 2001, “The Effect of Aerated Oil Considering Live Oil Surface Tension on High-Speed Journal bearing,” KSTLE International Journal, Vol. 2, No. 2, pp. 103~113.
- (21) Chun, S. M., 2001, “The Effect of Eccentricity on Aerated Oil in High-Speed Journal bearing,” KSTLE International Journal, Vol. 2, No. 1, pp. 1~11.
- (22) Suh, H. S. and Rhim, Y. C., 2001, “A Parametric Study on the Characteristics of Oil-Lubricated Wave Journal Bearing,” KSTLE International Journal, Vol. 2, No. 1, pp. 59~64.
- (23) 김종수, 최상규, 유광택, 2001, “유막의 온도 변화를 고려한 플로팅 링 제어널 베어링의 성능 해석,” 한국윤활학회지, 제17권, 제2호, pp. 130~137.
- (24) Cheong, Y. M. and Kim, K. W., 2001, “Operating Characteristics of Counterrotating Floating Ring Journal Bearing,” KSTLE International Journal, Vol. 2, No. 2, pp. 127~132.
- (25) 노병후, 김경웅, 2001, “저널 베어링의 동기화된 선회 운동에 관한 연구,” 대한기계학회 논문집 A권, 제25권, 제9호 pp. 1432~1437.
- (26) 이용복, 곽현덕, 김창호, 장건희, 2001, “초소형 가스터빈 제너레이터용 스톱스트 베어링의 설계 및 타당성 연구,” 한국윤활학회지, 제17권, 제6호, pp. 467~475.
- (27) 정성원, 장건희, 2001, “다수의 각접촉 볼 베어링으로 지지된 5자유도 회전계에서 볼베어링의 Waviness에 의해 발생하는 비선형 진동 해석 모델,” 한국소음진동공학회지, 제11권, 제2호, pp. 336~345.
- (28) 정성원, 장건희, 2001, “구름요소의 Waviness를 고려한 볼베어링 해석 이론,” 한국소음진동공학회지, 제11권, 제7호, pp. 275~286.
- (29) 심우건, 2001, “동심환 내에서 회전하는 실린더에 작용하는 유체 동하중,” 한국소음진동공학회지, 제11권, 제3호, pp. 428~436.
- (30) 이승재, 정호열, 정재택, 2001, “근접하여 회전하는 두 원통 사이의 유효유동해석,” 한국윤활학회지, 제17권, 제5호, pp. 391~398.
- (31) Kim, C. K., Ko, Y. B. and Cho, S. H., 2001, “On the Sealing Characteristics Analysis and Design of Bi-Polymer O-ring Seals,” KSTLE International Journal, Vol. 2, No. 1, pp. 40~45.
- (32) Ha, T. W., 2001, “Rotordynamic Analysis for Stepped-Labyrinth Gas Seals Using Moody's Friction-Factor Model,” KSME International Journal, Vol. 15, No. 9, pp. 1217~1225.
- (33) 하태웅, 이용복, 김창호, 2001, “터보펌프 고압 플로팅 링 실의 누설량 및 회전체 동역학적 특성해석,” 유체기계저널, 제4권, 제3호, pp. 29~38.
- (34) 하태웅, 2001, “편심된 펌프 실의 누설 및 회전체동역

- 학적 해석,” 유체기계저널, 제4권, 제2호, pp. 15~21.
- (35) 최병렬, 이안성, 최동훈, 2001, “갤러킨 유한요소 해석법을 이용한 기계니컬 페이스 실의 유효성능 해석,” 대한기계학회 논문집 A권, 제25권, 제6호 pp. 916~922.
- (36) 안영공, 양보석, 森下信, 2001, “자기점성유체를 이용한 가변감쇠 마운트의 모델화,” 한국소음진동공학회지, 제11권, 제1호, pp. 141~146.
- (37) 안영공, 양보석, 森下信, 2001, “ER 유체를 이용한 이방성 스퀴즈필름 댐퍼의 특성,” 한국소음진동공학회지, 제11권, 제2호, pp. 301~306.
- (38) 이용복, 김종립, 이남수, 김창호, 최동훈, 2001, “강성 회전축계를 지지한 전기 유변 유체 스퀴즈 필름 댐퍼의 최적 설계,” 한국유효학회지, 제17권, 제3호, pp. 216~220.
- (39) 김종수, 최영준, 제양규, 2001, “접판 스프링 댐퍼를 이용한 저어널 베어링의 안정성 향상,” 한국유효학회지, 제17권, 제3호, pp. 179~184.
- (40) 최영준, 김종수, 제양규, 2001, “접판 스프링 댐퍼를 이용한 저어널 베어링의 안정성 향상에 관한 실험적연구,” 한국유효학회지, 제17권, 제3호, pp. 185~190.
- (41) Choi, Y. S., 2001, “On the Contact of Partial Rotor Rub with Experimental Observations,” KSME International Journal, Vol. 15, No. 12, pp. 1630~1638.