자기베어링의 개발동향

임 달 호　　권 병 일 o　　정 용 배
한양대학교 전기공학과

Development Trendency of Magnetic Bearing

D.H. IM　　B.Y. KWON o　　Y.B. JUNG
Dept.of Electrical Engineering,Hanyang university

Abstract: Electronically controlled magnetic bearings offer two major advantages over conventional ball bearings: there is no mechanical wear, and the shaft position is under precision control. The former characteristic is useful in rotary systems, which require reliability under maintenance-free conditions. In this paper, we introdue developement tendency and technology of magnetic bearing.

1. 서론

선진국에서는, 자기부상기술이 자기부상철도에 적용되어, 실용화를 향한 연구가 진행중이며, 국내에서도 이에 대한 개발연구가 활발하게 진행되고 있다.[1],[2],[3] 또한, 자기부상기술은, 고도의 清潔度를 요구하는 크린룸에의 사용을 목적으로 하는, 소형의 자기부상반송시스템에도 적용되어 실용화 되고 있다.[4],[5], [6]

이외에도 자기부상기술은, 기존의 회전체를 지지하는 기계적 베어링을 對替하는 자기베어링에의 적용이 연구개발되고 있다. 高速 回轉體를 지지하는 자기베어링(Magnetic Bearing)은, 적은 마찰, 적은 진동 및 소음, 초고속회전, 특수환경에서의 운동능력 등의 특징을 갖으므로, 종래의 접촉베어링의 단점을 한꺼번에 제거할 수 있는 고품질의 시스템을 실현한다. 일본을 비롯한 선진국에서는 이러한 자기베어링을 최첨단분야에의 적용을 목적으로 연구개발 및 실용화가 진행되고 있다.

국내에서의 자기베어링에 관한 연구例로서는, 기계학회 관련학술발표회의 연구발표가 몇편[7],[8] 있으나, 전기학회 관련학술발표회에서의 발표는 全無한 상태이다. 자기베어링은 기계 및 전기의 공통 분야이므로, 이에 대한 선진각국 연구동향 및 핵심기술의 개요를 소개하므로서 電氣分野의 관심을 구하고자 한다.

2. 자기베어링의 구조와 제어[9]

2.1 자기베어링의 구조

자기베어링이란, 전동기 등의 회전체를 비접촉으로 支持하는 베어링을 의미한다.

자기베어링을 실현하는 방식에는 초전도자석을 사용하는 방식, 영구자석을 사용하는 방식, 상전도전자석을 사용하는 방식 등이 있으나, 현재 실용화되고 있는 방식은 상전도전자석이 철을 흡인하는 힘을 이용하는 것을 기본으로 하고 있다. 이의 원리적인 구조를 그림1에 나타낸다.

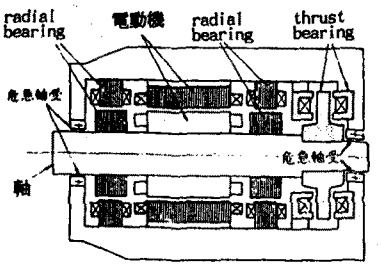

그림 1. 자기베어링의 구조例(5軸制御形)

회전체를 강체로 생각하면, 여섯개의 자유도를 갖는다. 즉, 중심위치(x, y, z)에서 세개, 또한 이들 軸의 회전(rolling, pitching, yawing)에서 3개로, 합계 여섯개의 자유도이다. 회전운동을 이용하려고 하면 이것은 전동기등의 회전운동에 자유도를 맡겨야 하므로, rolling을 제외한 5개의 자유도를 구속하기 위한 제어가 필요하다. 이 다섯개의 자유도를 전부 제어하는 자기베어링을 5축제어형 자기베어링이라 한다.

그림1의 구조에 있어서는, 좌우의 radial bearing으로 4

개의 축, thrust bearing 으로 1개의 축을 제어한다. radial bearing에서는 방사상으로 끌어당기는 형태로, thrust bearing에서는 左右로 부터 끌어당기는 형태로 축을 중심에 유지하도록 한다.

회전방향을 제외한 모든 방향의 자유도를 제어하기 위한 것이 5축제어형이지만, 제어회로를 간소화 하기 위하여, 영구자석을 사용하므로서 제어베어링의 個數를 줄이는 연구도 활발하다. 제어베어링을 가장 간소화 시킨 형태가 1軸制御形이다. 1軸制御形 자기베어링을 그림2에 나타낸다. 그림에서 나타내듯이 兩端의 radial bearing 으로서는 圓環狀의 영구자석을 이용하여 회전자가 반경방향으로 편위하면 자연히 元狀態로 돌아가는 성질을 이용한다. 하지만 축방향은 역시 불안정하므로, thrust bearing으로서는, 전자석을 능동제어하므로서 안정화한다.

현재, 1축제어형에서 부터 5축제어형 구조까지 사용되고 있다. 능동제어의 축수가 적어지면 제어장치는 간소화 되지만, 베어링의 성능(축 진동의 억제능력 등)은 떨어진다.

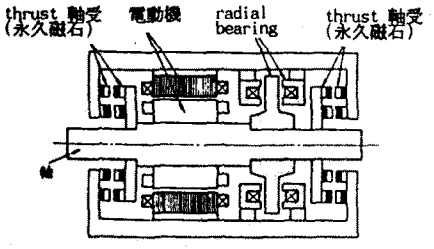

그림 2. 1軸制御形 자기베어링

자기베어링을 채용하는시스템에서는, 회전자를 비접촉으로 동작시킬 필요가 있으므로, 농형유도전동기와 같은 정류자와 브러시가 없는 전동기가 사용된다. 또한, 구동에는 高周波인버터가 사용된다.

2.2 자기베어링의 제어

성전도자석을 이용하는 자기베어링의 핵심기술은 축의 공극장을 유지하기 위한 제어기술이며, 자기부상철도에서 개발된 부상제어기술이 적용될 수 있다. 이하에서 부상제어의 실현을 위한 요소기술을 설명한다.

2.2.1 위치센서

다른 자기부상시스템과 마찬가지로, 축의 위치를 비접촉으로 검출하기 위한 비접촉 위치센서(그림1에는 나타나 있지 않음)가 필요하며, 이 신호에 의하여 전자석의 전류를 제어하여, 공극장을 유지하므로서 비접촉상태를 유지한다.

비접촉 위치센서로서는, 와전류형센서가 가장 일반적이며, 이외에도 靜電容量形, 인덕턱스形, 光센서, CCD 등이 있다.

2.2.2 제어회로

흡인력을 이용하는 자기부상은 본질적으로 불안정한 상태이므로, 안정화를 위한 제어가 필연적이다. 단순하게는, 위치의 변화에 비례한 전자석의 입력전압을 제어하는 것으로 충분할 것 같지만, 양호한 제어특성을 얻기 위해서는 위치, 위치의 미분(속도) 및 코일의 전류(또는 가속도)를 피드백제어 할 필요가 있다.

가능한 한 제어 대상을 정확히 모델링하여, 제어성능을만족시키기 위하여, PID제어, 최적레규레이터수법등이 적용된다. 하지만 모델링의 부정확성 등을 보충하기 위하여, 강인성性을 부여하는 제어기법으로서는, H 無限大제어이론 등이 연구되고 있다.

2.2.3 전력증폭기

제어회로에서 연산된 신호에 의해 전자석의 전압을 제어하기 위해서는 전력증폭기를 사용한다. 규모가 적은 자기베어링에서는 트랜지스터, 파워演算증폭기에 의한 선형제어로 충분하지만, 대형의 자기베어링의 경우에는 PWM제어를 사용하여 전력손실의 低減을 꾀한다.

3. 자기베어링의 응용분야 [10],[11]

자기베어링의 특징 및 응용분야를 표1에 나타낸다. 자기베어링은 완전비접촉이며, 능동제어를 하므로 표1에서 나타낸 특성을 갖는다. 表중의 특수환경이라 함은, 眞空中, 特殊가스中, 저온, 고온中을 의미한다.

응용분야에 표시한 例 중에서 터보분자펌프를 간단히 설명한다. 이의 자세한 내용 및 그 외의 응용분야의 내용에 대해서는 참고문헌[10],[11]을 참고하기 바란다.

반도체製造나 粒子가속기 등에 있어서는 高眞空이 요구되는 경우가 많다. 종래의 윤활유식 터보분자펌프는 진공도의 한계, 윤활유에 의한 오염의 문제가 있었지만, 이를 자기베어링식 터보분자펌프로 대체하므로서 위의 문제들이 해결되었다.

4. 해외의 연구동향

자기베어링은 전기, 기계의 종합기술 일 뿐만 아니라, 제어이론을 적용하여, 그 성능을 향상할 수 있는 대상이다.

표 1. 磁氣베어링의 特徵과 應用分野

應用分野	期待되는特徵					
	低摩擦 低騷音	特殊環境에서 使用可能	精密回轉 可能	可變 軸剛性	無保守 長壽命	超高速 回轉
에너지貯藏用 Fly Wheel	◎	○		○	○	◎
人工衛星姿勢制御用 Reaction Wheel	○	◎			○	
工作機械主軸			○	○	○	◎
터보分子펌프		◎			○	○
遠心 分離機	○		○	○	○	◎
醫用X線 發生管	○	◎	○		○	○
레이저빔 偏光機	○		◎		○	◎
中性子 쵸퍼		◎	○		○	◎
微流速計測器	◎	◎	○			

또한 그 응용분야는 前章에서도 설명하였듯이 초첨단분야이며, 선진국에서도 실용화를 막 시작한 단계이다.

자기베어링의 국제적인 연구교류로서는, 1988년 제 1회 자기베어링에 관한 심포지움이 스위스 연방공과대학에서 개최되었다. 심포지움에서의 발표내용을 표2에, 발표자의 國別 분포를 표3에 나타낸다. 제2회 자기베어링에 관한 심포지움은 1990년 7월 일본의 동경에서 개최되었다.

이처럼 자기베어링의 연구 및 교류활동이 국제적으로 활발하게 이루어 지고 있다.

표 2. 第1回 磁氣베어링에관한 國際 심포지움의 發表內容

內容	件數
宇宙에서의 應用	2
物理學에의 應用	6
로보트에의 應用	1
特殊 베어링	2
回轉子運動의 安定化	3
柔軟軸의 振動制御	4
産業에의 應用	5
파라메터 同定	4
不平衡 및 外亂制御	4
디지털 制御	5
合計	36

표 3. 第1回 磁氣베어링에 관한 國際 심포지움의 發表國 (1988年)

國名	件數
日本	13
獨逸	9
美國	6
프랑스	3
스위스	2
英國	1
中國	1
브라질	1

5. 결론

자기베어링의 우수한 면을 소개하였다. 한편, 문제점으로서는 가격이 높고, 停電대책이 필요하며, 개발이나 기존 전동기의 대체에 있어서 고도의 기술이 필요한 점 등을 들 수 있다. 하지만 가격에 대해서는, 베어링 만으로서는 종래의 기계적베어링과 비교하여 高價이지만, 윤활계통이 불필요 하다는 점, 전동기를 고속으로 회전시켜 增速用의 齒車를 없앨수 있는 점, 설치면적이 적어지는 점 등을 고려한 시스템 전체의 가격과 그 보수비용을 고려하면 충분히 적용가능한 것으로 평가되고 있다.

자기베어링의 우수성 및 첨단분야에의 유효성을 고려할 때, 국내에서도 이에 대한 활발한 연구가 필요하며, 특히 전기분야의 관련전문가의 관심 및 연구참여가 절실하다.

6. 참고문헌

[1] 正田英介, 권병일, "자기부상철도의 현상과 전망," 대한전기학회지, Vol.37, No.4 pp.58-70, 1988.
[2] 권병일, "초고속 자기부상열차의 자동운전시스템," 대한전기학회지, Vol.40, No.8, pp.54-60, 1991.
[3] 正田英介, 他, "リニアモータカ-實用化の動向," 日本電學論D, Vol.110, No.1, pp.2-13, 1990.
[4] 임달호, 권병일, "크린룸용 자기부상반송시스템의 개발동향," 대한전기학회지, Vol.41, No.3 pp.43-50, 1992.
[5] 小豆澤, 他, "磁氣浮上無塵搬送システム," 日本電學誌, Vol.106, No.7, pp.677-680, 1986.
[6] S. Tagagi, et al., "Dust Free Wafer Transportation System for Semi-conductor Plant," Int. Conference of Maglev & Linear Drives, Las Vegas, May, 1987.
[7] 한동철, "마그네틱 베어링의 소개", 대한기계학회지, 30권, 5호, pp.454-459, 1990.
[8] 박영철, 他 "자기베어링의 설계와 시험적 동특성", 대한기계학회'92년도추계학술대회논문집, pp.400-403,1991.
[9] 松村文夫,"實用化が始まった磁氣軸受," 日本電學誌, 111권 3호, pp. 219-222, 1991.
[10] 松村文夫, 他 "磁氣浮上方式と關聯技術," 日本電氣學會技術報告(2部)第353호, 1990.
[11] 松村文夫, 他 "磁氣軸受の理論と開發の現狀," 平成2年電氣學會産業應用部門全國大會, S.1 - S.36, 1990.