

하드 디스크 드라이브 개발에 관련된 기계기술의 현황

이 호 성

(Maxtor Corporation, U.S.A.)

1. 머리말

정보전달 및 저장기술의 급격한 발전에 힘입어 “정보사회”의 실현이 최근에 더욱 가속화되고 있다. 특히 인터넷의 대중화로 인하여 전세계에 퍼져있는 숫자·문자 정보뿐만 아니라 음성·화상 정보를 쉽게 얻을 수 있게 되었다. 또한 이것으로 인하여 개인용 전산기(PC)로부터 초고속·초대형 전산기에 이르기까지 엄청나게 많은 정보저장용량을 요구하게 되었으며, 정보저장기기에 대한 폭발적인 수요를 불러 일으키게 되었다. 최근에 많이 실용화된 디지털 영화와 화면캡사 기술의 예를 들어보면, 35 mm 일반 영화의 한 화면을 디지털화하는 경우 40 메가바이트가 드는데, 1 초에 24화면이 필요하므로 1분의 영화를 디지털화하는 경우 대략 57600메가바이트(대략 60기가바이트; 1기가바이트=10⁹바이트)의 저장용량이 필요하다. 특히 고화질의 영화를 제작하는 경우 한 화면 당 100메가바이트 이상의 저장용량이 필요하다. 1937년에 제작된 월트 디즈니의 만화영화 “백설공주”는 1993년에 디지털화 되었는데, 총 83분의 119550화면을 저장하는데 15000기가바이트(즉 15 테라바이트; 1 테라바이트=10¹²바이트)가 필요하였다⁽¹⁾. 이것은 2기가바이트 용량의 하드디스크드라이브(HDD) 7500개에 해당하는 분량이다.

1980년초 Seagate사에 의해 5메가바이트 용량의 PC용 HDD가 처음 소개된 이후, HDD 기술은 꾸준한 성장을 거듭하였다. 80년대 후반기에 들어서면서 반도체 메모리

(DRAM과 SRAM) 기술의 급격한 발전과 용량의 증가로 HDD의 장래에 대해 비관적인 견해가 많았다. 즉 반도체 메모리가 궁극적으로 HDD 등 대용량 저장기기를 대체할 것으로 예측되었다. 하지만 90년대에 들어서면서 HDD의 단위면적 당 저장용량의 증가율은 매년 60퍼센트 이상을 기록하고 있다. 즉 매년 단위저장용량의 가격이 60퍼센트씩 감소하는 추세를 보이는 것이다. (1980년대 중반 40메가바이트를 살 수 있는 가격으로 1997년 현재 2000메가바이트의 하드디스크 드라이브를 살 수 있다.) 이러한 급격한 가격저하는 부단없는 기술의 개발·발전으로 인한 것으로 극심한 기술경쟁 속에서 생존·성장할 수 있는 발판이 되는 것이다. 그 성장요인은 자기기록 기술의 발전 뿐만 아니라 전자·기계장치에 의한 자기 헤드 위치 제어 기술의 지속적인 발전에 의한 것이다.

자기 기록 기술은 읽기·쓰기 헤드, 자기 기록 디스크, 읽기 채널 전자회로(channel electronics), 데이터 encoding 및 헤드와 디스크 사이의 간격을 일정하게 유지하는 기술 등을 포함하고 있다. 저장용량은 면적밀도(areal density)로 표기되는데, 이것은 선형밀도(linear density)와 트랙밀도(track density)의 곱으로 계산된다. 선형밀도는 정보저장 트랙을 따라 단위 길이당 비트(8비트=1바이트)의 갯수를 말하며 그 단위는 BPI(bits per inch)이다. 트랙밀도는 1인치당 몇개의 트랙이 있는가를 표시하며 그 단위는 TPI(tracks per inch)이다. 1997년 현재 시판되고 있는 HDD의 용량은 120000에서 180000

BPI(즉 1밀리미터 당 5000에서 7000비트), 6000에서 8000TPI(즉 1밀리미터 당 240에서 315트랙) 정도의 밀도에 의한 것이다. BPI의 증가는 자기 기록 기술의 발전에 전적으로 기인하는 반면, TPI의 증가는 기계기술 발전에 의존하고 있다. 한편 BPI의 증가는 상대적으로 꾸준한 증가의 추세를 보이고 있다.

본 글에서는 HDD에 관련된 기술 중 기계적 요소와 관련된 내용을 소개하는 데 중점을 두었다. HDD의 기본 요소들을 2절에서 간략히 소개하고 3절에서는 동역학·서보 기술을 기술하였다. 4절에서는 HDD의 진동과 충격에 관련된 문제와 기술적 사항을 설명하였다. 그리고 마지막으로 장래 기술전망에 대해 간략하게 기술하였다.

2. 하드 디스크 드라이브의 기본 요소

하드 디스크 드라이브(HDD)는 크게 두 부분으로 구성되어 있다. 반도체 칩, 마이크로 프로세서, 기타 전기적 부품이 조립되어 있는 프린트 기판(PCBA : printed circuit board assembly)과 주로 기계장치로 구성되어 있는 헤드·디스크 조립동체(HDA ; head disk assemble)가 그것이다. 그림 1은 HDA의 기본요소를 보여주고 있다. 자기 저장 장치의 가장 중요한 부품인 자기헤드와 디스크를 비롯하여 디스크를 돌려주는 스피들 모터, 헤드를 원하는 위치까지 움직이는 음성코일모터

(VCM : voice coil motor) 등이 나타나 있다. HDD가 작동하지 않을 때는 헤드가 항상 안쪽 반경(inner radius 또는 inner crash stop)에 놓이게 되는데, 헤드가 함부로 움직이지 않도록 하기 위하여 기계식 또는 자석식 빗장(latch)이 설치되어 있다. 그림 1에는 나타나 있지 않지만 헤드에서 나오는 전기신호를 PCBA로 전달하는 케이블이 있다. 이 케이블은 arm에서 base plate로 부착이 되며 유연한 재료로 되어 있어 flex cable 또는 PCC(printed circuit cable)라 불리운다. 이 케이블은 대량생산이 용이하여 가격이 저렴한 장점이 있으나 동적으로 비선형성이 강하여 해석이 어려우며 HDD의 성능을 높이는 데 어려움을 주고 있는 요소중 하나이다.

HDA 안의 디스크 수는 HDD의 저장용량을 결정하며 일반적으로 각 디스크 당 2개의 헤드가 따르게 된다. HDD 기술 중 가장 특기할 만 한 것은 자기 헤드가 자기 디스크 위를 접촉없이 공기압력에 의해 부상하여 비행하는 것이다. 디스크가 회전함에 따라 헤드와 디스크 사이에 공기압력이 형성되어 서서히 디스크 면에서 떨어지게 되고 항상 일정한 간격을 유지하게 된다. 즉 헤드와 디스크 사이에 공기 베어링이 생긴다. 이 간격을 작게 할수록 선형밀도(linear density, BPI)를 증가시킬 수 있으며 이것을 위하여 헤드의 형상을 최적화하는 연구가 꾸준히 진행 중이다. 1957년 IBM사에 의해 처음으로 HDD가 소개되었을 때에는 외부에 별도로 공기 압축기가 설치되어 공공간격을 20 μm 로 유지하였다. 1997년 현재 공공간격은 2 마이크로 인치(대략 0.05 μm) 미만으로 줄어들었다. 이 간격이 얼마나 작은 것인지 쉽게 상상하기가 어렵다. 헤드의 길이를 1.8 mm로 볼 때, 이것을 70 m 길이의 보잉 747 여객기에 비유하면, 지상 2 m 위를 초속 500 km 이상의 속도로 지면과 전혀 부딪히지 않고 날아가는 것과 비교된다.

스피들 모터의 속도는 PC용 저급 HDD의 경우 분당 3600~5400회전, 고성능 HDD의 경우 분당 7200회전이 주종을 이루고 있으나, 현재 분당 10000회전의 제품이 시판되고 있다. 앞으로 고용량 HDD의 실현은 지속적인 트랙밀도(TPI) 증가 가능성에 좌우될 것이

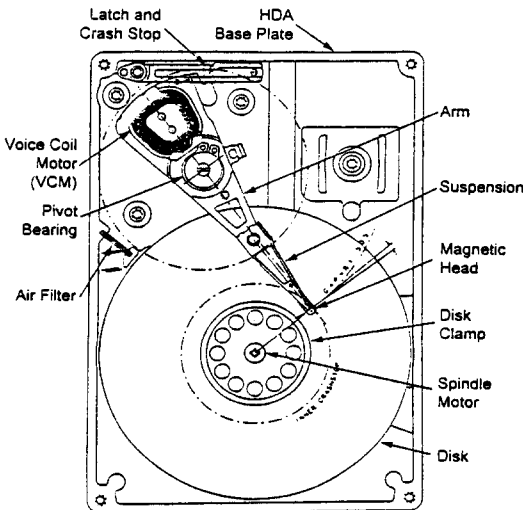


그림 1 HDA(head disk assembly)의 구성요소

며, 특히 스핀들 모터·베어링의 성능의 향상이 절대적으로 중요하다. 지금 주로 사용되고 있는 볼베어링을 대체하기 위하여 유체동역학 베어링(FDB : fluid dynamic bearing)에 대한 연구가 많이 진전되었으며 1~2년 내에 이것을 장착한 제품이 시장에 소개될 것으로 기대된다.

3. 디스크 드라이브 동역학과 서보 기술

초창기 HDD의 자기헤드는 직선형 음성코일 모터(linear voice coil motor)를 이용하여 움직여졌다. 이것은 음성스피커 안의 음성코일과 똑같은 원리로 작동된다. 이 직선형 음성코일모터는 많은 정밀 기계요소를 필요로 하며, 가격이 비싸고 특히 외부 충격에 약한 단점이 있어, 지금 생산되고 있는 모든 HDD는 그림 1에서 보는 바와 같은 회전형 음성코일모터(rotary voice coil motor)를 사용하고 있다. HDD의 액추에이터는 음성코일모터(VCM)를 비롯하여 arm-suspension-자기헤드

로 구성되며, 이 헤드의 위치제어를 위하여 액추에이터의 동역학을 예측 또는 측정하여야 한다. 동역학은 주로 유한요소법(FEM)을 이용하여 계산되며, 실험에 의한 측정치와 상당히 근사하게 맞아 떨어진다. 그림 2는 측정된 동역학을 보여준다. 39 Hz에 나타난 공진현상은 피복 베어링의 비선형 마찰력에 의한 것이다^(2,3). 이것의 비선형성에 의해 정확하게 모델링하는 것은 일반적으로 어렵다. 따라서 HDD의 작동 주파수 영역을 100 Hz에서 1500 Hz까지로 볼 때, 그림 2에서 보는 바와 같이 이 부분의 주파수 응답(frequency response)은 거의 직선으로 나타나며 따라서 선형모델로 가정한다. 즉 마찰력이 없는 단순 질량모델(double integrator)로 가정하여 제어기를 설계한다. 실제로 200 Hz 이상 주파수 영역의 동역학을 자세히 측정해 보면 arm과 suspension에 의한 공진현상을 관찰할 수 있다. 제어기 설계시 2000 Hz 이상의 주파수 영역에서 공진현상이 일어나지 않도록 유의해야 한다.

그림 3은 HDD를 간단한 제어계로 나타낸

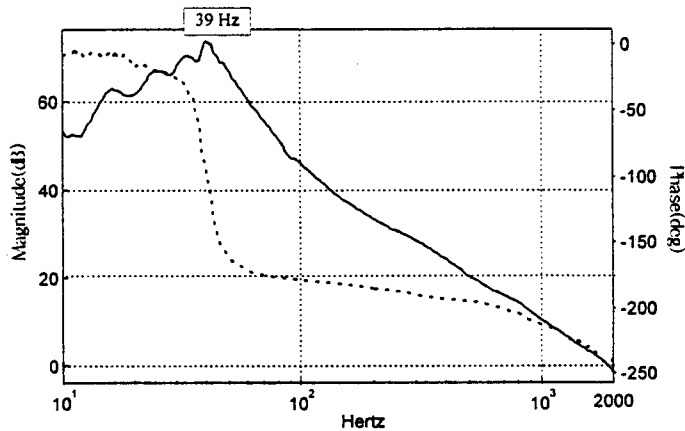


그림 2 HDA 액추에이터의 동역학 측정

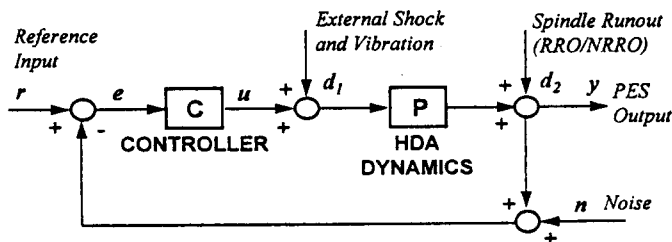


그림 3 HDD의 위치제어계를 나타내는 블록 선도

것이다. 그림에는 4개의 입력(r, d_1, d_2, n)과 1개의 출력(y)이 표시되어 있다. y 는 위치오차신호(PES : position error signal), 즉 원하는 데이터 트랙의 중앙에서 헤드가 얼마나 벗어나 있는가를 나타내는 신호이다. 이 신호는 여러가지 복잡한 장치와 과정을 통하여 만들어진다. HDD 제어기의 가장 큰 임무는 원하는 데이터 트랙에 빠른 시간에 도달하기 위한 seeking, 그리고 원하는 트랙에 도달한 후 데이터트랙의 중앙에서 헤드가 벗어나지 않도록 제어하는 track-following의 두가지이다. 이 두가지를 통상적으로 HDD 서보 제어(servo control)라 부른다. Seeking은 최소시간(minimum-time)제어, 그리고 track-following은 최소변위(minimum-variance)제어의 이론에 의해 설계된다. 그림 3에서 보는 바와 같이 HDD 제어기는 원하는 위치입력(r)에 대한 PES 출력(y)의 관계를 결정하며 이것을 방해하는 3가지의 외란(disturbance : d_1, d_2, n)에 대한 해석이 매우 중요하다.

외부의 진동과 충격, 헤드에 미치는 공기베어링의 외력(air bearing windage), 피벗베어링의 마찰력, 그리고 flex-cable에 의한 편향력(bias) 등이 그림 3에서 d_1 으로 표기되어 있다. 스피들 모터·베어링 그리고 디스크 회전에 따른 디스크의 움직임에 따라 오차가 가중되며, 이것을 런 아웃(runout)이라 한다. (그림에서 d_2 로 표기됨.) 런 아웃은 또한 두개의 요소로 나누어지는데, 주파수 영역에서 볼 때 회전수에 비례하여 나타나는 오차를 RRO(repeatable runout), 그리고 회전수와 무관한 부분을 NRRO(non-repeatable runout)이라 한다. 또한 PES 측정시 자기·전기적 소음이 같이 섞이게 되며, 이것이 그림에서 n 으로 표시되어 있다. 제어기 설계시 이들 외란을 최소화하기 위하여 여러가지 기법이 사용되고 있으나, 실제로 완벽한 성능을 기대하기는 어렵다. 일반적으로 제어기의 closed-loop bandwidth를 올림으로써 런아웃에 의한 오차를 감소시킬 수 있을 것으로 기대되나, 높은 bandwidth는 상대적으로 전기적 소음에 의한 영향을 증가시키는 부작용을 초래한다. 따라서 단지 제어기의 성능을 조정함으로써 HDD의 성능을 높이는 데는 한계가 있으며, 스피들 모터·베어링 및 기타 기계적

부품의 질과 성능을 같은 수준으로 향상시켜야 한다.

4. 하드 디스크 드라이브의 진동·충격 문제와 대책

4.1 스피들 모터의 설계와 선택

HDD에 있어 진동의 진원지는 그림 1에서 보는 바와 같이 스피들 모터와 VCM이다. 특히 스피들 모터의 성능은 HDD의 읽기·쓰기 작동에 있어 신뢰도를 결정적으로 좌우한다. 현재 생산되고 있는 모든 HDD의 스피들모터는 볼베어링을 사용하고 있으며 완벽한 구형이 아닌 볼의 원칙적인 결함으로 인하여 진동·소음의 주된 원인이 되고 있다. 무엇보다도 이 결함으로 인한 디스크의 움직임은 헤드를 원하는 트랙의 중앙에 유지하게 하는 데 있어 어려움을 주는 외란의 가장 큰 요소 중 하나가 된다. 베어링에 의한 진동을 HDD 산업체에서는 비반복 런아웃(NRRO : non-repeatable runout) 또는 스피들의 비동조 오차운동(AEM : asynchronous error motion)이라 부른다. 즉 이 NRRO는 스피들의 회전주파수와 동조하지 않는 스피들의 회전운동으로 정의된다. 일반적으로 베어링결함의 진폭(amplitude)을 측정하기 어려우며, 따라서 NRRO의 크기를 예측하기가 쉽지 않다. 반면에 베어링결함 주파수(bearing defect frequency)는 볼의 수 및 스피들의 회전수와 여러모양으로 비례의 관계를 갖고 있으며 진동모드는 축방향, 반경방향, 회전방향에 따라 전진 또는 후진 모드 등 여러가지 복잡한 형상으로 나타난다⁽⁴⁾. 이 진동모드들은 디스크의 회전시 가진력으로 작용하게 된다.

디스크가 회전함에 따라 선회모드(whirling mode)가 생기며, 이것은 회전기기 동역학(rotor dynamics) 이론에 의해 전진 자이로(forward gyro)와 후진 자이로(backward gyro)로 구분된다. 이 자이로 모드는 회전기기(즉 스피들 모터와 디스크)의 고유 모드가 된다. 따라서 스피들 모터 설계시 베어링 결함 주파수가 디스크 회전 고유 모드와 공진이 일어나지 않도록 하는 것이 절대적으로 중요하다.

그림 4는 스피들 모터 설계 또는 선택시 일

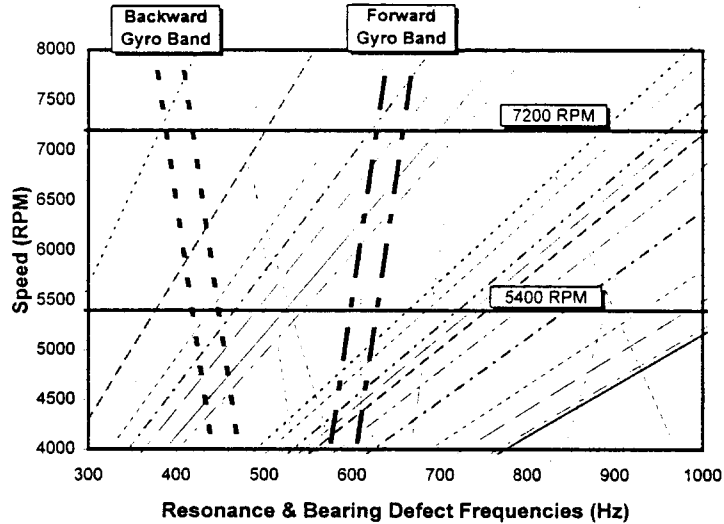


그림 4 스피들 모터와 디스크의 campbell diagram

상적으로 사용되는 campbell diagram의 예를 보여주고 있다. 수직축은 모터의 회전수, 수평축은 베어링 결함 주파수를 표시한다. 여러 가지의 다른 선들은 스피들 회전에 따른 베어링 결함 주파수들을 나타내고 있다.

두개의 굵은 선으로 나타나 있는 것이 전진 자이로와 후진 자이로 모드의 주파수 영역을 나타낸다. 설계시 불확실성을 고려하여 30 Hz 정도의 주파수 밴드가 주어지 있다. 설계의 기본원칙으로는 주어진 설계 회전수를 따라 이 두개의 주파수 밴드 내에 결함 주파수를 나타내는 선이 들어가지 않도록 하는 것이다. 그림에는 또한 설계회전수인 5400 rpm과 7200 rpm이 두개의 수평선으로 표시되어 있다. 이 campbell diagram을 이용하여 과도한 진동 발생문제를 미리 예측하며, 공진문제 발생시에는 모터의 회전수를 바꾸거나 가진 또

는 공진주파수가 다른 새로운 볼베어링을 사용하여야 한다.

4.2 하드디스크 드라이브의 진동·충격 사양

일반적으로 3.5인치 이상의 드라이브는 고정된 전산기에 설치되며 3인치 이하(2.5인치와 1.8인치)의 드라이브들은 휴대용 PC에 설치된다. 따라서 3.5인치 이상의 드라이브를 DTP(desk-top products), 3인치 이하의 드라이브들을 MP(mobile products)라 한다. 드라이브에 대한 외적 진동·충격 문제는 보통 MP에 더욱 중요하다. DTP의 경우에도 HDD의 손상은 전산기 조립시 또는 전산기를 옮기는 도중 잘못된 취급으로 인한 충격에 의해 의외로 많이 발생하고 있다.

표 1은 최근에 시판되고 있는 HDD 제품의

표 1 HDD의 진동·충격 사양(3.5인치 드라이브)

	작 동 중		비 작 동 중	
	조 건	결 과	조 건	결 과
충격시험	20G, 2msec	No Error	150G, 2msec	No Damage
Random Vibration	10 Hz at 0.0125G ² /Hz 40 Hz at 0.0125G ² /Hz 500 Hz at 0.000125G ² /Hz	No Error	10 Hz at 0.015G ² /Hz 40 Hz at 0.015G ² /Hz 500 Hz at 0.00015G ² /Hz	No Damage
Sine sweep Vibration	5~20 Hz 0.049인치 21~300 Hz 1.0G Peak 300~500 Hz 0.25G Peak	No Error		

진동·충격 사양의 예를 보여주고 있다.

표 1에서 “작동중”의 의미는 HDD가 읽기·쓰기 등 정보교환의 일을 하고 있는 것을 말한다. HDD의 작동에 있어 “쓰기”가 “읽기”보다 훨씬 중요하다. 왜냐하면 “쓰기”는 지우고 새로 쓰는 파괴적 operation이기 때문이다. 쓰는 도중 진동이나 충격에 의해 헤드가 다른 트랙으로 움직이게 되면, 원하지 않은 트랙에 데이터가 기록되며 그곳에 있는 중요한 정보는 지워지게 되는 것이다. 따라서 진동 및 충격에 대한 절대적인 과제는 가능한 어떠한 경우에도 저장되어 있는 정보(데이터)가 손상되지 않도록 하는 것이다.

충격시험의 경우 half-sine 충격을 가하게 된다. 즉 HDD가 쓰기작업을 수행하는 동안 20G의 가속도로 0.002초 동안 충격을 가한 후 모든 데이터를 다시 읽을 수 있는가를 점검한다. 비작동 충격시험도 매우 중요하다. 150G의 가속도로 0.002초 동안 충격을 가한 후 HDD가 정상적으로 작동하는가를 점검한다. 정상가동하는 드라이브를 분해한 후 디스크의 면을 검사한다. 큰 충격시 헤드는 디스크의 면을 때리게 되며, 이것에 의해 디스크의 면이 손상을 입고, 그곳에 있던 작은 파편 조각(debris)이 떨어져 나오게 된다. 경우에 따라 이 작은 조각이 헤드와 디스크 사이에 끼게 되면 헤드는 제대로 역할을 하지 못하게

된다. 또한 충격후 그림 1에서 보인 HDA 각 부품(스핀들 모터, 피봇 베어링, VCM, latch 등)의 조립상태를 검사한다.

HDD의 작동 중 불규칙 진동을 가하여 드라이브의 작동상태 및 성능을 검사한다. 10 Hz에서 40 Hz까지 0.0125 G²/Hz(가속도 spectral density)의 불규칙 진동을 가하고 40 Hz에서 500 Hz까지는 0.000125 G²/Hz 될 때까지 서서히 낮춘다. 이 시험을 하는 도중 HDD의 서보 성능(즉 seeking과 track-following 성능), 위치오차신호(PES), 데이터의 입출력 속도(data throughput), 비트오차율(bit error rate: BER) 등을 측정하여 원하는 사양을 만족하는지를 점검한다. 실제로 드라이브의 3축 방향으로 모두 6번(+X, -X, +Y, -Y, +Z, -Z)의 시험을 하게 된다. 비작동 불규칙 진동을 비슷한 방법으로 시행한 후 드라이브의 성능을 점검하고 또한 분해하여 각 부분의 조립상태를 검사한다.

Sine sweep 진동시험은 HDD 작동시 5 Hz에서 20 Hz까지는 0.049인치(1.24 mm)로 진폭을 일정하게 하고, 21 Hz에서 300 Hz까지는 1.0G와 300 Hz에서 500 Hz까지는 0.25G로 가속도를 일정하게 하여 진동을 가한다. 시험하면서 드라이브의 성능, 작동 실패 여부를 점검한다. 그림 5는 sine sweep에 의한 헤드의 응답을 시뮬레이션을 통하여 예측한 것

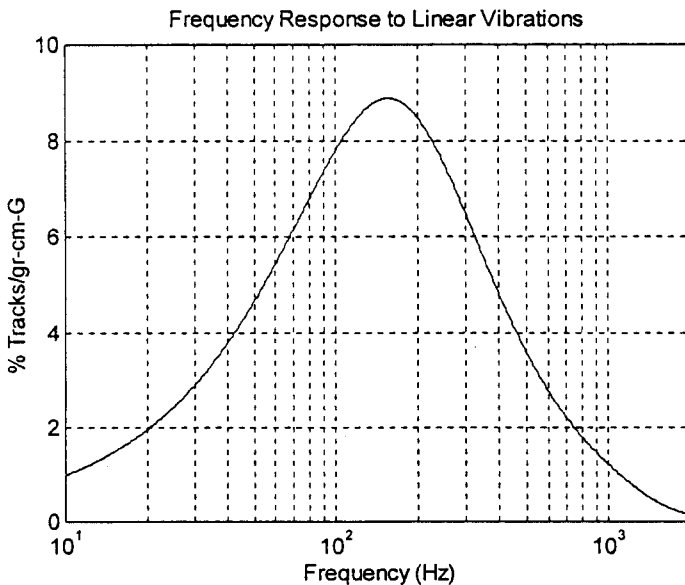


그림 5 선형 외부진동에 대한 헤드의 반응(시뮬레이션)

이다. 헤드의 움직임은 그림 1에서 보는 바와 같이 suspension-arm-VCM의 질량 불균형(imbalance 또는 unbalance)에 의한 것이다.⁽⁵⁾ 수평축은 10 Hz에서 2000 Hz까지의 주파수 영역을 나타낸다. 수직축의 단위는 1그램-cm의 불균형과 1G의 가속도를 가했을 때 헤드가 트랙의 중앙에서 몇 퍼센트 벗어나는가를 나타내고 있다. (이것을 off-track이라고 함) 시뮬레이션에 의하면 150 Hz의 가진(excitation)에서 최고 9퍼센트 정도의 off-track이 생기는 것으로 계산되었다. 시뮬레이션에 사용된 드라이브의 질량 불균형이 0.2그램-cm임을 감안할 때, 실제 off-track은 1.8퍼센트가 되는 것으로 예측되며 이것은 안전한 수치이다. 이 때 나타나는 최대치는 또한 충격에 대한 헤드의 움직임과 밀접한 관계를 가지고 있다. 최대 off-track과 이것이 생기는 주파수 영역이 설계요구조건을 만족시키지 않을 때에는 질량불균형을 줄이거나 서보제어기를 새로 설계하여야 한다. 질량불균형을 줄이는 것은 기계장치 즉 HDA를 재설계하는 것을 의미하며, 이것은 용의하지 않은 해결책이다. 따라서 제어기의 변수를 조정하여 HDA의 동적성격을 변경하는 것이 가장 먼저 취하는 방법이다.

5. 전 망

컴퓨터 및 정보·통신 기술의 급속한 발전은 앞으로도 계속될 것이며, 최근에는 가전용품의 전산·디지털화를 위한 연구가 진행 중이다. 머지 않은 장래에 주택 내의 모든 장치의 전산제어가 가능하리라는 전망이 나오고 있다. 특히 고화질 디지털 TV의 실용화는 PC와 TV와의 구분을 어렵게 만들 것이다. 이러한 디지털 정보의 대중화는 정보저장기기에 대한 폭발적 수요를 지속시킬 것이다.

하드 디스크 드라이브, 테이프 드라이브, CD-ROM, DVD(digital video disk) 등 대용량 정보저장기기는 앞으로도 계속 기계식이 주종을 이룰 것이다. 하드 디스크 드라이브, DC-ROM, 반도체 메모리 등은 각각 장점과 단점이 있으므로 서로 상호 보완적으로 계속 존재할 것으로 전망된다. 현재의 정보 저장 용량을 획기적으로 늘리기 위한 많은 새로운

아이디어들이 나오고 있으며, 이곳 실리콘 벨리를 중심으로 이 아이디어를 실현시키기 위하여 크고 작은 회사들이 연구·개발을 계속하고 있다. 그 중에서도 HDD의 자기 기술과 CD-ROM의 광학기술을 합성하여 한꺼번에 수십배의 용량증가를 가능케하는 near-field recording의 실용화에 기대를 거는 사람들도 많다. (3.5인치 디스크 한장에 20기가바이트 용량을 목표로 함.)

2000년도에 이르면 HDD의 TPI가 20000 TPI 이상에 도달할 것으로 예상되며, IBM사와 캘리포니아 대학 버클리에서는 HDD의 TPI를 획기적으로 증가시키기 위하여 MEMS(micro electromechanical systems)를 이용하며, 그 실용화를 위한 공동연구를 진행하고 있다. 즉 반도체 생산 원리를 이용하여 자기헤드에 고성능 액추에이터를 직접 장착하는 기술을 개발하고 있다. 이 첨단기술의 실현을 위하여, 전기공학, 재료공학, 기계공학, 제어기술의 권위자들이 최선을 다하고 있다. 지금까지의 연구 개발은 주로 용량 증가에 중점을 두었는데 최근에는 정보 입·출력 속도를 증가시키기 위한 노력을 많이 하고 있다. 스피들 모터의 회전속도가 10000 rpm인 HDD가 이미 시판되고 있으며, 그 이상의 회전속도를 실용화하기 위한 연구·개발도 진행 중이다. 이러한 고성능 HDD의 실현을 위하여는 보다 집중적인 기계기술의 개발이 필요하다. 고속 회전모터에 따른 열·소음·진동 문제는 지금까지와는 다른 차원의 문제를 야기시킨다. 예를 들면, 디스크와 헤드 주위의 고속 난기류(turbulence)에 의한 진동문제는 유체에 의한 진동(flow-induced vibration) 이론을 도입하여 해석하여야 한다. 또한 진동에 의한 헤드의 움직임을 최소화하기 위하여 가속도계를 base plate에 부착하여 제어신호를 피드 포워드 시키는 방법도 제시되고 있다⁽⁶⁾.

또 한편으로는 견실제어(robust control) 기법을 이용하여 제어계의 진동·외란 문제를 해결하는 방법이 일본을 중심으로 활발하게 연구 중이다. 계측기기의 팔목할 만한 발전으로 인하여 새로운 기술의 개발을 용이하게 하고 있다. 예를 들면 LDV(laser doppler vibrometer)는 미세한 운동 및 진동의 측정

을 쉽게 하며, 고속 디지털 카메라는 초당 수백 내지 수만장의 영상 기록이 가능하여 충격시의 각 기계부품의 움직임을 정밀하게 관찰할 수 있다.

본 글에서 기술한 바와 같이 대용량 정보저장기기는 많은 기술적 난제들을 가지고 있으며, 특히 진동·소음·제어 분야에 있어 새로운 기술의 부단없는 개발을 요구하고 있다. 마지막으로 강조할 것은 이러한 새로운 기술의 실용화에 대한 가장 중요한 전제 조건으로 가격이 저렴하여야 한다는 사실이다.

참고 문헌

정보 저장기기와 관련된 대표적 소개 논문

- Harker, J. M., Brede, D. W., Pattison, R. E., Santana, G. R. and Traft, L. G., 1981, "A Quarter Century of Disk Drive File Innovation," IBM Journal of Research and Development, Vol. 25, No. 5, pp. 677~689.
- Stevens, L. D., 1981, "The Evolution of Magnetic Storage," IBM Journal of Research and Development, Vol. 25, No. 5, pp. 663~675.
- Fan, L. S., Ottesen, H. H., Reiley, T. C. and Wood, R. W., 1995, "Magnetic Recording Head Positioning at Very High Track Densities Using a Microactuator-Based Two-Stage Servo System," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 42, No. 3, pp. 222~233.
- Kaneda, Y., 1995, "Advanced Optical Disk Mastering and Its Application for Extremely High-Density Magnetic Recording," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 42, No. 3, pp. 257~262.

정보 저장기기의 동역학·진동·제어와 관련된 대표적 논문

- Frees, G. M., 1995, "Disk Drive Spindle Dynamics-Analysis and Measurement,"

Advances in Information Storage Systems, Vol. 6, pp. 237~262.

- McAllister, J. S., 1996, "The Effect of Platter Resonances on Track Misregistration in Disk Drives," Sound and Vibration, pp. 24~28.
- Funches, O. L., 1996, "Application of Modern Control to Disk Drive Actuator Positioning," Preprints of the 13th World Congress of IFAC, pp. 381~386.

본문에서 인용된 문헌

- (1) Spectrum, 1995, "The Digital Backlot," IEEE Spectrum, pp. 50~63.
- (2) Abramovitch, D., Wang, F. and Franklin, G., 1994, "Disk Drive Pivot Nonlinearity Modeling Part I: Frequency Domain," Proceedings of the American Control Conference, pp. 2600~2603.
- (3) Wang, F., Hurst, T., Abramovitch, D. and Franklin, G., 1994, "Disk Drive Pivot Nonlinearity Modeling Part II: Time Domain," Proceedings of the American Control Conference, pp. 2604~2607.
- (4) Nagarathnam, L., Leuthold, H. and Jennings, D., 1995, "Mechanical Vibration Caused by Ball Bearings in Spindle Motor," Proceedings of Incremental Motion Control Systems and Device, pp. 251~255.
- (5) Radwan, H. R., Phan, D. T. and Cao, K., 1996, "Effect of Disk Drive Actuator Unbalance on Track Following Response to External Vibration and Shock," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 32, No. 3, pp. 1749~1755.
- (6) White, M. T. and Tomizuka, M., 1996, "Increased Disturbance Rejection in Magnetic Disk Drives by Acceleration Feedforward Control," Preprints of the 13th World Congress of IFAC, pp. 489~494.