

고밀도 기록, 재생의 기계 기술 동향

Trends on Mechanical Technology for High Density Recording

▣ 박노철·양한식·임운철·박영필 / 연세대학교 정보저장기연구소

1. 서론

멀티미디어화 및 인터넷사용의 확대로 요구되는 정보의 양이 급격히 증가하면서 대용량의 정보를 저장할 수 있는 고밀도 정보저장기에 대한 중요성이 커지고 있다. 또한 경제적으로도 정보저장기기는 1998년에 이미 세계적으로 250억 달러를 넘어서는 큰 시장을 형성하고 있으며, 네트워크, 인터넷 사용자의 폭발적인 수요 증가에 따라 지속적인 성장을 거듭할 것으로 전망되고 있다. 국내 산업이 차지하는 비중도 매우 커서 광학식 정보저장기기(ODD)인 CDR, CDRW, DVD 등은 LG전자와 삼성전자가 전세계 시장의 약 40%를 점유하고 있고, 하드디스크 드라이브(HDD)는 삼성전자가 세계시장의 6% 정도를 점유하고 있다.

정보저장기기 분야에서 기술혁신의 속도는 반

도체를 상회할 만큼 거세다. 21세기에 접어들면서는 점점 그 발전속도가 빨라져서 앞으로의 2~3년 정도를 대략 예견할 수 있을 뿐이고, 향후 10년 이후의 모습에 대해서는 누구도 확신을 가지고 예측할 수 없는 정도이다. 현재 PC의 세대 보급률은 급속히 증대되고 있으며, 기업에서의 1인당 PC보유 대수도 거의 같은 경향으로 증가하고 있다. 또한, 이들 PC들이 초고속 Network로 연결되고, 아울러 Internet의 사용이 일반화되면서, 정보의 송신이나 수집·교환이 보다 많이 그리고 빈번하게 행해지면서 개인이 접하거나 생성하는 정보의 양이 기하급수적으로 증가하고 있다. 대부분의 사람들이 일단 얻은 정보를 개인적으로 저장하기를 선호하기 때문에 정보저장기기는 이들이 이용하는 모든 장치에 필수적인 것이 되었다. 이와 같이 정보화 수준이 높아졌고, AV 정보들이 Analog에서 Digital로

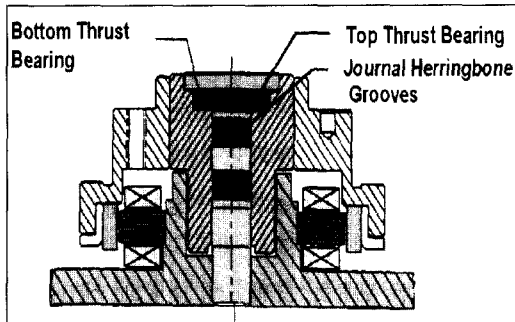
급속히 변환되고 있지만 아직까지는 취급하는 Data의 중심이 문서에 기록된 Text(문자·수치만의 정보) 수준에 머물고 있다. 문서로 존재하는 이러한 정보가 Digital화되면, 더욱 방대한 규모의 정보저장능력이 필요하기 때문에, 앞으로의 정보저장기기는 현재보다 훨씬 높은 수준의 성능이 저장능력, Access속도, 신뢰성 등에서 요구될 것이다. 이에 부응하여 HDD의 경우 매년 거의 100%의 기록밀도 향상을 달성하고 있으며, ODD도 근접장기록(NFR)기술 등을 응용하여 기록밀도의 획기적 향상을 꾀하고 있어 면기록밀도는 몇년 이내에 100Gbit/in² 이상이 상용화될 것으로 전망되고 있다. 정보저장기기의 응용 분야도 고밀도화, 소형화, 저소음화 등에 부응하는 기술발전과 더불어 휴대용 정보기기, AV기기, Audio 및 생활가전분야 등으로 급속히 확대되고 있어, 향후의 전망을 더욱 밝게 하고 있다. 이와 같이 HDD와 ODD로 대표되는 정보저장기기는 전자산업 전반에 걸쳐 기본적인 중요한 요소로 자리잡고 있다.

정보저장기기는 지속적으로 고속화, 고밀도화, 소형화, 저소음화, 내충격성 확보 등의 보다 좋은 성능으로 개선되어 가고 있다. 특히 메카니즘기술이 집약되어 있는 HDD의 경우, 1957년 IBM에서 RAMAC(IBM 350)을 발표한 이래 수십년 동안 많은 발전을 거듭해 왔다. 개발 초기인 1950년대 제품은 선기록 밀도가 100 bit/in(BPI), 트랙밀도가 20 track/in(TPI) 정도로 50장의 24in 디스크를 사용하여 5 Mb의 정보를 저장할 수 있었으나, 현재는 15 GB/in² 이상의 면기록밀도를 제품들이 일반화되었다. HDD의 기록밀도는 1989년까지 매년 약 30%, 1989년 말 이후에는 매년 60%정도 증가하였고, 최근에는 매년 약 100%씩

증가하고 있다. 또한 열 요동에 의한 기록밀도의 물리적 한계는 당초의 우려와 달리 계속 상향수정되고 있으며, 근간에 100 GB/in²의 기록 밀도를 달성할 것으로 예상되고 있다. 또한 HDD의 적용범위를 PC, Server에서 이동형 정보기기로 확장시키기 위한 소형화도 최근 급진전을 보이고 있다. 이러한 고속화, 고밀도화, 소형화, 저소음화, 내충격성 확보 등에 필요한 기술들을 Mechanism을 중심으로 고찰해 보고자 한다.

II. 고속 데이터 접근

데이터 접근시간(access time)은 한 데이터 위치에서 임의의 데이터 위치로 움직이고 데이터를 읽거나 쓰기 시작하는데 소요되는 평균시간을 의미한다. 즉 새로운 트랙에 도달하는 시간인 탐색시간(seek time)과 도달한 트랙에서 발생하는 트랙킹 에러가 사라지는 동안 소요되는 정착시간(settling time) 그리고 트랙 내에서 원하는 섹터로 회전하는데 소요되는 시간인 잠복시간(latency time)의 합으로 정의된다. 데이터 처리 속도를 향상시키기 위한 방안으로 디스크의 회전 속도를 증가시키는 방법과 액츄에이터의 관성모멘트를 줄이는 방법 그리고 액츄에이터의 파워를 증가시키는 방법이 모색되고 있다. 특히 회전 속도를 증가시키기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 최근에는 회전속도가 7,200 RPM인 HDD를 쉽게 접할 수 있으며 15,000 RPM의 HDD도 출시되고 있다. 이와 같은 회전 속도의 증가는 시스템의 기계적인 진동을 증가시킨다. 디스크 회전에 따른 반경방향의 힘은 회전 속도의 제곱에 비례하므로 회전속도가 7,200 RPM에서 10,800 RPM으로



<그림 1> Schematic Diagram of Hydrodynamic Bearing.

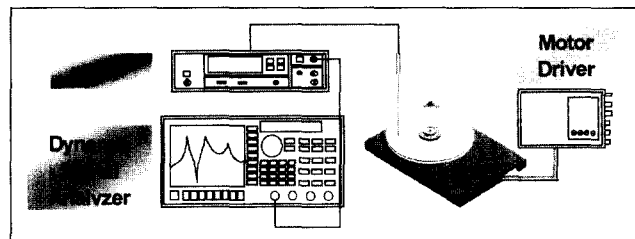
50% 증가하면 반경방향의 가진력은 2.25배 증가한다. 따라서 회전속도 증가에 의한 가진력을 최소화하기 위한 방안으로 스피indle 모터의 회전축을 지지하던 기존의 볼 베어링을 대신할 <그림 1>과 같은 유체 베어링(Hydrodynamic bearing)이 개발되고 있다.

1. 고속 회전

디스크형 기억장치는 체적당의 이용 효율이 높고 Data에의 Access성 즉 고속성을 달성하기에 적합하다고 볼 수 있다. HDD의 회전수는 이미 15,000 rpm이 넘어섰다. 이처럼 고속화에 의해 회전 대기 시간이 대폭적으로 개선되고 Data에의 Access 시간 단축이 더욱 원활하게 된다. 주로 Notebook 형 PC에 사용되고 있는 65 mm (2.5Inch)장치에서의 회전수는 현재 4,200 RPM이지만 이것도 시대와 함께 고속화하게 될 것이라고 생각하고 있다.

12,000 rpm HDD에서 디스크의 유효 직경은 약 65mm이기 때문에 선속은 약 40m/s가 된다. 이러한 40m/s

라고 하는 수치가 디스크의 소형화와도 대부분 일치한다. 선속이 40m/s가 되려면 130 mm에서는 5,400 rpm, 95 mm에서는 7,200 rpm, 그리고 84 mm에서는 10,000 rpm이어야 하므로 장치의 소형화가 고속화와 함께 진전할 가능성이 있다고 보여진다. Inhub형 Motor의 출현으로 HDD는 Compact하게 설계할 수 있게 되었고 또한 PC의 보급과 함께 급속하게 발전하게 되었다. Inhub란 Hub라고 하는 디스크를 고정하는 부품의 내측에 Motor를 배치하는 것이다. 즉, 디스크는 Hub의 바깥 측에 설치되는 구조로서 내주를 원환상으로 고정하고 외주가 자유롭게 회전하게 된다. 이 구조의 디스크는 회전하게 되면 원심력 효과에 의해 송풍력이 발생하고 진동여진력도 증가하게 된다. 이들은 Motor의 부하 증대를 의미하고 소비 전력의 증가를 일으키고 나아가서는 HDD의 온도 상승과 함께 신뢰성의 저하를 일으키게 된다. 게다가 소비전력은 공기 중에서 회전수의 약 2.5승에 비례하여 급격하게 증가하는데 이것은 점성유체인 공기 중을 디스크가 고속으로 통과하기 위해 발생한다. 그러나, 회전 원판 직경의 약 3승에 비례하는 특성도 지니고 있다. 즉, 소형화되면 Spindle Motor의 회전수가 증가해도 소비전력이 증가하지 않는 구조를 실현하는 것이 가능하다.



<그림 2> Experimental Set-up for Vibration of Disk

고속으로 회전하는 디스크에 의하여 난류유동이 발생하며 이로 인하여 Head의 위치 결정에 악영향을 받게 된다. 디스크 및 서스펜션이 Flutter라고 하는 진동 현상을 일으키게 되는데 이로 인하여 헤드의 정밀위치제어에 큰 어려움이 되고 있다.

이에 대한 대책으로서 디스크 및 서스펜션의 강성을 높이거나 감쇠를 크게 하여 진동 진폭을 작게 하는 연구가 필요하다. 다른 방법으로는 디스크의 직경을 작게 하여 발생 유동을 근본적으로 감소시키는, 즉 소형화가 있다.

디스크가 회전하면 원심력이 발생하고 중심에 존재하는 공기는 외부로 발산되려고 한다. 그것을 이용하면 송풍기가 되고 압축기가 된다. 동시에 공기를 분리하는 것이기 때문에 소음이 발생하게 된다. 소음은 소비전력과 마찬가지로 속도의 지수승에 비례하여 증가하게 된다. 따라서 소형화를 통하여 저소음화를 달성할 수 있다.

고속 회전에 동반하는 문제를 정리하고 그것을 극복하는 수단을 다음과 같이 정리한다.

1) 소비 전력

디스크 사이로 흐르는 공기흐름의 경로를 최적 설계할 필요가 있다. 그리고, Motor의 전력 소비에 대해서는 과전류에 의해 소비되는 성분의 저감, Bearing 마찰 손실 저감, 자기 효율의 향상 등을 꾀한다. 회로에 대해서는 저전력화를 추구하고, 소자의 소형화로 집적도를 향상시킨다.

2) 온도 상승에 대한 대책

온도상승을 억제하기 위해서 Motor에서 발생하는 열을 장치 밖으로 발산시키는 방식에 대한 연구가 필요하다. 이를 위한 간단한 방법에는 장치

표면의 방사 면적을 크게 하는 것이 있다. Form Factor라고 하는 표준 치수 규제 때문에 설계 자유도는 크지 않으므로 전열성이 좋은 재료나 형상의 연구 등의 노력도 필요하다.

3) 회전계(Bearing)의 수명

현재는 Ball Bearing Spindle 방식이기 때문에 가동체인 볼의 수명에 따라 전체 회전시스템의 수명이 결정된다. 또한 윤활제로서 사용하고 있는 Grease의 비산과 예압이 문제이다. Grease는 Ball Bearing의 Retainer속에 축적할 수 있으나 고속화에 의해서 이 Grease의 감소가 심해지고 헤드 오염에 심각한 문제를 추가로 발생시키기 때문에 Retainer의 구조의 개량 등이 계속하여 진행되어야 한다. Ball Bearing에 대한 예압량은 작게 하면 수명은 증가하지만 너무 작으면 회전비 동기 진동(Ball이 Retainer의 중심에서 회전하기 때문에 발생)이 크게 되어 위치 결정 정밀도를 저하시키는 요인이 되기 때문에 최적화가 필요하다. 또 InHub Motor에서 Ball의 고정 방법은 정압예압 방식이고 발열했을 경우 열팽창 흡수가 중요한 설계항목이 되고 있다. 이러한 문제에 대한 근본적인 해결 방법으로서 미끄럼 Bearing Spindle의 개발이 활발하게 진행되고 있다.

4) 정밀 위치 제어

고속 회전이 되면 유체로 인한 진동이 증가하여 Head Slider를 정보 기록 Track에 정밀하게 위치시키기 어렵게 된다. 또한 공기의 회전/반경방향 유동은 Arm을 여진 시키고, Slider를 지지하는 Suspension은 요구되는 특성상 유연하게 설계되기 때문에 유동의 영향을 크게 받게 된다.

이를 해결하기 위해서는 Suspension의 흐름 유도 방출 진동을 저감하는 형상에 대한 연구, 가공 정밀도의 향상 등을 하게 된다. 또 유동장의 적정화에 의해 유체력 그 자체의 저감도 꾀하고 있다. 한편, Servo계는 고대역화에 의해 활발한 유동장에서 고 정밀도의 위치제어가 가능하도록 설계를 하고 있다.

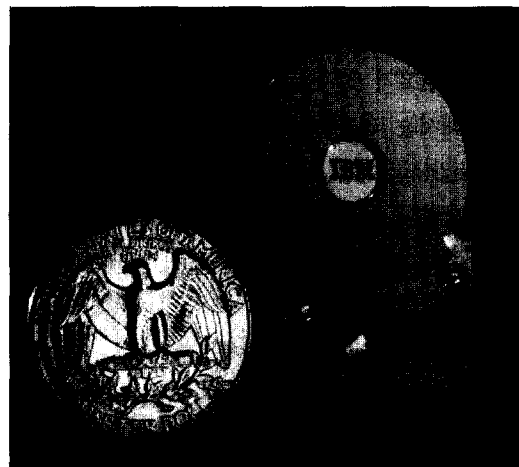
2. 고속 Seek

Seek 시간이란 Head가 디스크의 반경방향으로 하나의 Track에서 다른 Track으로 이동하는데 걸리는 시간을 가리킨다. 불과 수년 전까지는 평균 Seek 시간은 10ms였다. 그것이 근래에는 5ms를 밑도는 Speed가 되고 있으며 가동부를 움직이는 가속도는 50G를 초과하고 있다. 1970년까지 거슬러 올라가서 보면 지수함수적으로 상승하여 고속화가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이들을 상세하게 분석하면 고속화가 이루어짐에 의해서 소형화가 진행되고 있다는 것도 알 수 있다. 이 경우 소형화의 효과는 이동 거리를 단축시켜 주고 이동시간은 거리의 제곱근에 비례하게 된다. 그러나 그것만으로는 지수함수적으로는 상승하지 않는다. Actuator를 구성하는 Voice Coil Motor의 추력 향상이나 가동 부분의 경량화를 소형화에 의한 경량화 이상으로 추진해 온 결과이다.

고속으로 이동하려면 가동 거리의 단축과 동시에 경량화된 가동부를 강력하게 구동할 필요가 있다. 그리고 목표의 Track에 정확히, 정숙하게 위치시켜야 한다. 또한, 구동시에 발생한 힘은 반력이 되어 장치를 고정하는 Frame을 여진하기 때문에 저진동 설계가 필수적이다. 또 고속 가동에는 많은 전력을 소비한다.

Ⅲ. 초소형 HDD

앞으로 휴대용 디지털 기기는 더욱 급속하게 발전할 것으로 예상되고 있다. 현재 사용되고 있는 휴대용 디지털 기기의 대표적인 예로는 PDA, 휴대전화, 디지털 AV기기, 디지털 캠코더, 디지털 카메라, 초소형 컴퓨터 등이 있으며 이들 기기의 기능이 더욱 복잡해지고 다양해짐에 따라 더욱 더 큰 용량의 소형 정보저장기기가 요구되고 있다. HDD는 가격에 비해 용량이 매우 크다는 점에서 앞으로 소형 정보 저장기에서도 우위를 차지할 것으로 기대되고 있다. 이러한 가능성은 1999년 IBM의 Microdrive출시를 계기로 더욱 구체화되었다. 2000년에 IBM에서는 1GB 용량의 Microdrive를 시판하기 시작하였으며, Toshiba에서는 2GB 용량을 갖는 PC Card Type II 형태의 1.8인치 HDD를 양산하기 시작하였다. 이들 소형 HDD의 설계에는 노트북용으로 사용되는 2.5인치 HDD나 데스크탑용으로 사용되는 3.5인치 HDD의 단순한 기계·전자 부



〈그림 3〉 IBM의 MicroDrive

품 사이즈의 축소뿐만 아니라 휴대용 기기에서 사용됨으로써 발생하는 여러 문제들도 함께 고려되어야 한다. 예를 들면, 휴대용 기기에 사용되기 때문에 전력 소비를 최대한으로 줄여야 하고, 충격에도 강하게 설계되어야 한다. 다시 말해, 회로부와 구동부의 저전력화는 물론 공기 유동 및 베어링 마찰에 의한 기계적 손실도 함께 고려되어야 하며, Anti-shock 제어기법 및 Anti-shock 메커니즘 기술도 적용되어야 한다.

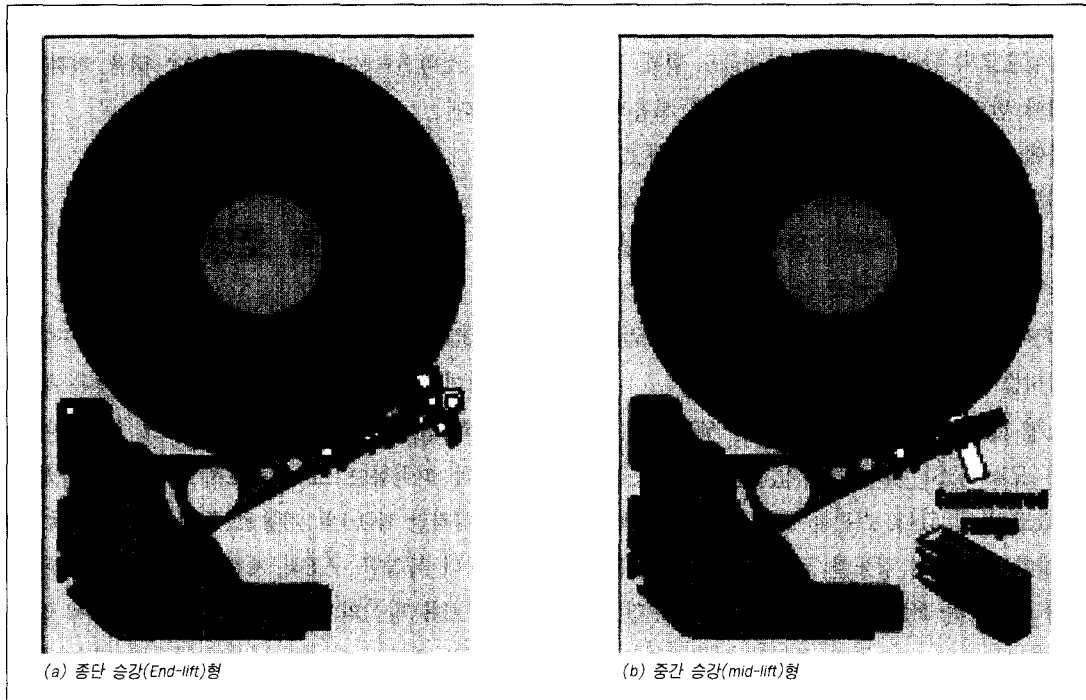
소형 HDD의 중요 설계 기술을 열거하면, 스피들 모터, LSI 및 회로실장, 전력 관리, 진동 및 쇼크 등이 있다. 스피들 모터의 경우, 소형화는 물론 베어링의 강도를 고려해야 하는데, 휴대용에 장착되는 HDD라는 특성상 충격, 수명, 마찰, 런아웃(runout) 등의 조건을 만족시키는 설계 기술이 필요하다. IBM의 Microdrive의 경우에는 여러 방식의 베어링을 고려했지만, 이들 조건을 만족시키지 못해 기존의 볼베어링을 사용한 것으로 알려져 있다. 하지만, 기록밀도의 증가를 위해서는 베어링 설계에 있어서 기술적 돌파구가 반드시 필요할 것이다. LSI 및 회로 실장은 전력, 사용전압 및 주어진 크기에 맞도록 설계가 이루어져야 한다. Microdrive의 경우에는 SLC(Surface Laminar Circuit)와 DCA(Direct Chip Attachment) 기술이 이용되었다고 한다. 전력관리 기술은 LSI 소자의 전력 손실과 베어링 및 디스크와 같은 기계적 부품에서 기인하는 전력 손실을 최소화하는 기술과 HDD의 미사용을 감지하여 디스크의 회전을 멈추게 하는 등의 저전력 모드로 전환하는 기술을 포함한다. 진동 및 쇼크 관련 기술로는 헤드의 Load/Unload 시스템 설계 기술, Suspension 설계 기술, Servo 기술 등이 관련되어 있다. 이러

한 여러 기술들의 발전에 의해 소형 HDD의 크기와 소비전력은 줄어들고, 용량은 더욱 커져 갈 것이다.

IV. 램프 로딩 기술

HDD의 기록 밀도가 증가함에 따라 헤드-디스크 사이의 간격이 점점 감소하고 있다. 낮은 부상높이와 긴 수명을 위한 헤드-디스크 인터페이스 변수의 최적화는 그 자체로서 하나의 기술적인 도전이지만 HDD의 기동과 정지도 다루어야 하므로 더 복잡한 구조와 제한조건들을 갖게 된다. 자기 기록 방식의 정보 저장기기인 HDD에 있어서 기록 밀도의 향상과 관련된 중요한 기술 중의 하나가 헤드-디스크 간의 마찰 마모 문제이다. 또한 기존의 HDD는 외부 충격에 약한 단점 때문에 운반시 제품 손상의 우려가 있으며 휴대용 PC에 장착할 경우에도 주의를 하여야 한다. 그러므로 이러한 단점을 극복하기 위하여 HDD의 내충격성 향상에 대한 요구가 증대되고 있으며 내충격성이 향상될 경우 휴대용 저장기기에도 사용이 용이하여 HDD가 적용될 수 있는 영역이 디지털 캠코더의 저장장치와 같은 디지털 가전기기 등으로 확대되어 질 수 있다.

램프 로딩 기술은 HDD의 기동정지시의 마모 및 점착문제를 회피하고, 내충격성을 향상시키는 것으로써, VCM(Voice Coil Motor)작동기가 디스크의 외경 밖으로 서스펜션을 이동시키면 서스펜션 로드 빔에서 연장되어 나온 승강탭(Lift tab)이 램프(ramp) 또는 캠과 연동하기 시작하여 헤드를 디스크 면상에서 들어올리고 안전 영역으로 옮기는 것이다. HDD의 기동과 정지 시에



〈그림 4〉 램프 로딩 방식의 종류

만 헤드의 L/UL(Load/Unload) 과정이 발생한다. HDD가 동작하기 시작하는 초기 단계에서 서스펜션은 적절하게 제어된 속도로 램프에서 미끄러져 나오며 슬라이더는 디스크의 회전수가 정속도에 도달하면 디스크 표면에 도달하게 된다. 슬라이더의 평균 로딩 속도는 보이스 코일 모터(VCM) 작동기의 역기전력이 피드백 되는 서보 제어계에서 제어된다.

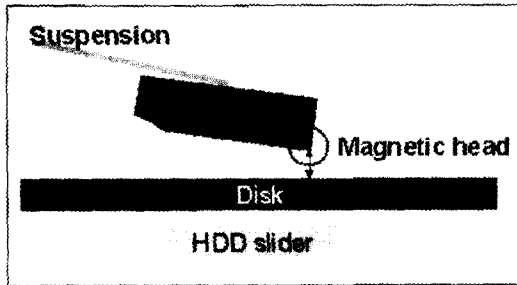
램프 로딩 방식의 종류는 그 기하학적 형상에 따라 여러 가지가 있지만 가장 기본적인 형태로는 종단 승강(end-lift)형과 중간 승강(mid-lift)형이 있다.

종단 승강형은 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 서스펜션에서 헤드 끝 쪽으로 승강(lift) 장치가 돌출 되어 있는 반면에 중간 승강형은 서스펜션

고정부와 헤드 사이의 로드빔(Load beam) 부가 램프부에 연동하도록 되어 있다. 종단 승강형은 대칭형 램프(backside merge ramp)를 사용하므로 가공 및 적용이 용이하지만 서스펜션 끝단에 추가 질량이 더해지므로 서스펜션의 공진 주파수를 낮추는 단점이 있다. 중간 승강형은 서스펜션에 추가 질량이 더해지는 않지만 피코 슬라이더를 쓰는 경우 램프 로딩을 위한 충분한 공간 확보가 어렵다.

램프는 복잡한 형상을 저렴한 가격으로 생산하기 위하여 일반적으로 플라스틱 몰드를 사용하며 정밀한 치수 공차, 저 마찰, 저 마모, 안정성 등을 만족시킬 수 있는 최적의 재료를 사용한다. 또한, 플라스틱에 고체윤활제(PTFE 등)를 첨가하여 마찰과 마모를 줄이기도 한다.

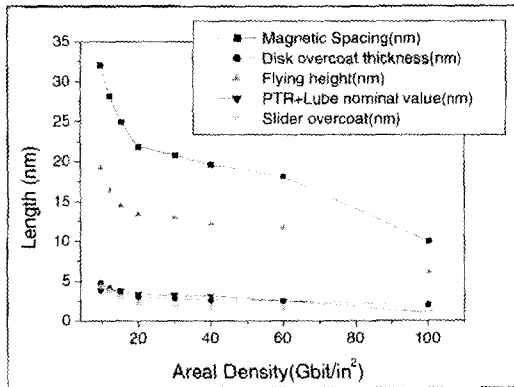
V. 헤드/미디어 인터페이스



〈그림 5〉 Schematic of Slider for HDD Drive.

HDD의 저장밀도(areal density)를 향상시키기 위해서는 head/disk 간격을 감소시켜야 하며, 이를 위해 보다 낮은 부상높이를 얻기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

〈그림 6〉은 100 GB/in²를 달성하기 위해 요구되는 magnetic spacing과 이에 따른 PTR(pole-tip recession), flying height, coating thickness등을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 100 GB/in²를 달성하기 위해서는 head 부분에서 PTR과 보호 coating에 의한 두께는 약 1.5 nm, disk에서 lubricant와 보호 coating



〈그림 6〉 Schematic of Slider for HDD Drive.

에 의한 두께는 약 2.5 nm에 이르러야 하며 이때 부상 높이는 약 6 nm가 되어야 한다. 또한 6 nm의 부상높이를 얻기 위해서는 disk의 waviness는 약 2nm, 표면 거칠기는 약 0.2 nm 이하로 유지해야 하며, landing zone의 bump 높이가 glide height 보다 작아야 한다. 즉, 원자 단위의 표면 거칠기를 갖는 disk media의 개발이 필요할 뿐만 아니라 수 nm의 laser bump를 가공해야 한다. 따라서 100 GB/inch²의 저장밀도 달성을 위해서는 보다 미세한 track width 및 bit length의 구현이 가능하도록 적절한 head/media 재료 및 process 개발이 필요하며, 극소의 부상높이를 안정적으로 유지할 수 있는 HGA(head gimbal assembly) system 및 ABS(air-bearing surface) 설계 기술, 보다 작은 두께를 갖는 coating 기술 등이 요구된다.

ABS의 설계는 유한차분법(Finite Difference Method), 유한요소법(Finite Element Method) 또는 유한체적법(Finite Volume Method)을 사용하여 해석하며 수행한다. 과거에는 단순한 레일형상이었던 슬라이더가 최근에는 위치가 변하더라도 부상높이의 변화가 적도록 레일의 형상이 2레일에서 3레일로, 사각형 평면에서 복잡한 형태로 설계되고 있다.

또한 슬라이더의 추종성능 및 부상안정성을 높이기 위해, 슬라이더에 작용하는 힘과 모멘트들이 평행상태에 도달되도록 최적화 기법을 사용하여 서스펜션을 설계한다.

VI. 초정밀 위치제어

HDD의 기록밀도는 트랙밀도(TPI)와 선밀도

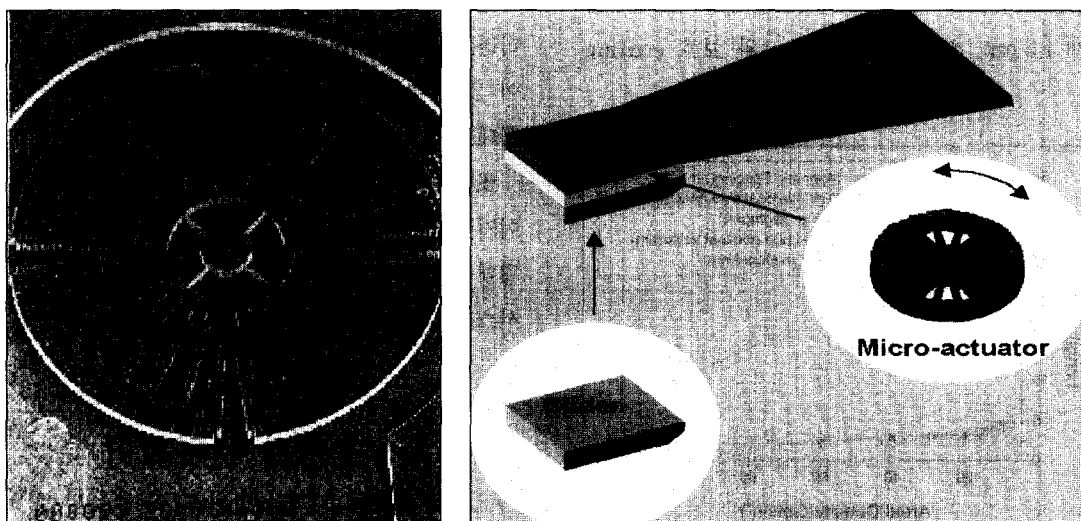
(BPI)의 곱으로 표시된다. 이 중 트랙밀도는 꾸준히 증가하고 있으며, 이미 30,000 TPI가 넘는 HDD가 상용화되어 있다. 한편, 트랙밀도의 증가는 트랙의 폭이 좁아짐을 의미하며 이는 헤드를 트랙 중심에 더욱 더 정밀하게 위치시켜야 함을 의미한다.

HDD에서 헤드의 위치 제어는 헤드를 원하는 위치까지 빠른 시간 내에 이동시키는 Seeking Servo와 헤드를 트랙의 중심에 정확히 위치시키는 Track Following Servo로 구분된다. 이 중에서 증가된 트랙밀도에서도 데이터를 안정적으로 재생하고 기록하기 위해서는 Track Following Servo가 잘 이루어져야 한다.

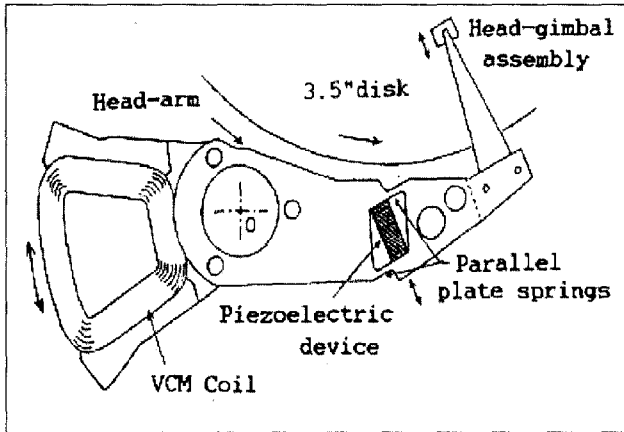
Track Following Servo의 성능은 외란과 Servo 제어기 및 구동기에 의해 결정된다. 따라서 Track Following Servo의 성능을 향상시키기 위해 외란 자체를 줄이고자 하는 연구와 Servo 제어기 및 구동기를 개선하고자 하는 연구가 활발히 진행되어오고 있다. 일반적으로 트랙밀도의 증가는 더 넓은 서보대역폭을 요구하게 된다. 그런

데, 최근에 와서 서보 대역폭의 증가가 더 이상 제어기만의 문제가 아닌 구동기의 문제로 확대되기 시작하였다. VCM의 동특성에 의한 대역폭의 제한과 저주파 영역의 VCM 피봇 베어링 마찰 특성에 의해 VCM만으로는 앞으로의 트랙밀도 증가에 대처하기 힘든 상황에 부딪치게 된 것이다. 이런 상황 속에서 대역폭을 확보하고 마찰 특성을 개선하기 위한 방안으로 이중 구동기가 제안되었고 이에 따라 이중 구동기를 이용한 초정밀 위치 제어에 관한 연구도 부각되게 되었다.

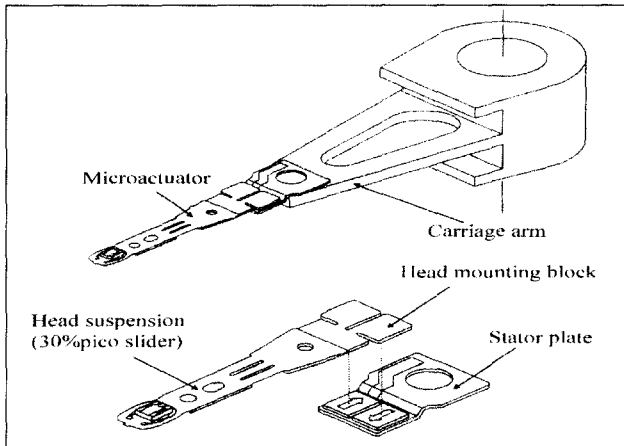
이중 구동기 방식은 구동력과 미소 구동기에 따라서 분류할 수 있다. 구동력에 따라서 분류하면 피에조(piezoelectric), 전자력(electromagnetic)과 정전기(electro-static) 방식으로 나눌 수 있다. 미소 구동기 위치에 따라서는 헤드, 슬라이더, 서스펜션 및 E-Block으로 나눌 수 있다. 각각에 적용되는 구동력과 관련하여 살펴보면 헤드를 움직이는 방식에는 정전기력이 사용되며, 슬라이더를 움직이는 힘으로는 정전기, MEMS에 의해



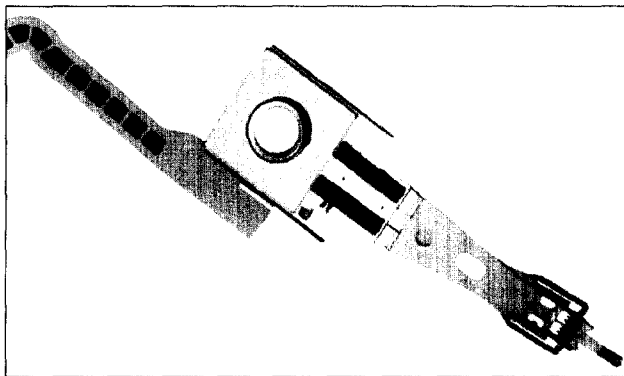
〈그림 7〉 Memsg기술을 이용하여 제작한 Micro-Actuator와 그 응용예



〈그림 8〉 Stack Type PZT를 이용하여 E-Block을 구동시키는 방식(Hitachi, 1991)



〈그림 9〉 Shear Type PZT를 이용하여 서스펜션을 구동시키는 방식(Fujitsu, 1999)



〈그림 10〉 Planar Type PZT를 이용하여 E-Block을 구동시키는 방식(HTI 1998)

제작된 미소 구동기에는 전자력과 피에조가 이용된다. 서스펜션을 움직이는 힘으로는 전자력과 피에조가 적용되고 있으며 E-Block의 구동에는 피에조가 쓰인다.

피에조를 이용하여 서스펜션을 구동하는 방식에는 Stack, Planar, Shear 타입의 피에조가 적용된 예가 있다. 〈그림 8〉은 1991년 일본 Hitachi사가 발표한 Stack 타입의 피에조를 사용한 예이다.

〈그림 9〉는 이중 구동기 연구를 지속적으로 수행하고 있는 일본 Fujitsu사가 1999년 Shear 타입의 PZT를 사용한 사례이며, 〈그림 10〉은 미국의 Hutchinson사가 Planar 타입의 PZT를 사용하여 개발한 Magnum 서스펜션을 보여주고 있다. Hutchinson사는 서스펜션 전문 생산업체로 거의 모든 디스크 드라이브 생산업체에 서스펜션을 공급하고 있으며 대부분 디스크 드라이브 회사들은 이 Magnum Dual Actuator에 기초한 고용량 디스크 드라이브 개발에 열중하고 있다. 가장 이상적인 이중구동기 방식인 헤드를 직접 구동시키는 방식에 대해서는 일본의 동경대학교와 Fujitsu사 모두 정전기 힘을 이용한 연구를 진행하고 있으며 슬라이더를 구동하는 방식은 일본의 TDK사가 피에조를 이용한 연구를 발표하였고 미국의 IBM사 및 Caltech에서는 정전기 힘을 이용한 논문을 발표한 바 있다. 이상과 같은 헤드와 슬라이더 구동 방식은 미소 구동기의 추가로 인해 HSA

에 불필요한 가진을 가할 가능성이 거의 없고 기존의 서스펜션을 변형 없이 사용할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그러나, 제조 단가, 부상 특성과 전기적 노이즈 등을 고려하면 미소구동기를 Gimbal 영역에 위치시킬 경우에는 다음과 같은 문제가 야기된다. Gimbal 영역 내에 미소구동기는 전원 공급을 위한 별도의 전선이 필요한데 이것이 Gimbal의 움직임을 방해할 수 있으며 미소구동기에 의해서 야기되는 전기장 및 자기장이 헤드에 간섭적인 영향을 일으킬 수 있다. 또한, 슬라이더와 Gimbal 사이에 위치한 미소구동기로 전체적인 두께 증가를 가져오게 되어 디스크 사이의 공간을 늘려야 하는 문제가 있으며 기존의 구조와 비교할 때 상대적으로 비대하여 충격이나 진동에 취약할 수 있다. 반면, 서스펜션을 피에조로 구동하는 방식은 높은 인가 전압이 요구되며 서스펜션의 공진 주파수에 의해 서보 대역폭이 제한된다는 단점이 있다.

이중 구동기의 초정밀 위치 제어를 위해 다양한 방법들이 제안되어왔다. 이들 중 Parallel Loop System, Master-Slave Loop System, Decoupled Master-Slave Loop System, Dual Feedback Loop System 등이 높은 실용화 가능성을 가지고 활발히 연구되고 있다.

Ⅶ. 결 론

전자산업 전반에 걸쳐 기본적이고 중요한 요소로 자리잡고 있는 정보저장기기에서 특히 Mechanism 관련 기술이 집약되어 있는 HDD에 대해 고속화, 고밀도화, 소형화 등에 필요한 기술들을 고찰하였다. 특히 고밀도화를 위해서는 정밀한 위치제어를 위한 제어기 및 구동기 개발과 헤드의 부상 높이의 감소에 따른 오염과 헤드 미디어간의 인터페이스 등 다각적이고 심도 있는 연구가 수행되어야 한다. 이와 같이 정보저장기기 분야에서는 나노 수준의 첨단 기계 기술이 요구되고 있으나 일부 기술선진국에서 대부분의 핵심 기술들을 독점하고 있고, 현재의 기술적 우위를 바탕으로 향후의 경쟁에도 유리한 입지를 확보하고 있는 실정이다. 이러한 어려운 상황아래서의 국내 기업들의 선전은 앞으로 본 분야에 대한 우리 산업의 전망을 밝게 볼 수 있는 계기가 될 수 있으나, 선진국과의 치열한 경쟁에서 살아남고, 매우 큰 규모의 시장에서 우리의 이익을 확보하기 위해서는 지속적인 투자가 특히 기술개발 부문에서 강화되어야 할 것이다.

본 연구는 한국과학기술재단 지정 정보저장기기연구센터의 지원(과제번호:2001G0101)으로 이루어졌습니다.

● 참고 문헌 ●

- [1] Akimoto, H., "Magnetic Relaxation in Thin Film Media as a Function of Orientation Ratio," *Journal of Magnetism and Magnetic Material*, vol.193, pp.240-244, 1999.
- [2] Sato, K., "Thermal Stability of Perpendicular and Longitudinal Recorded Information," *同上*, vol.193, pp.224-228, 1999.
- [3] Abarra, E., N., "Longitudinal Magnetic Recording Media with Thermal Stabilization Layers," *INTERMAG 2000 Digest of Technical Papers*, AA-06, 2000.
- [4] Hong, J., "Effect of Thin Oxide Capping on Interlayer Coupling In Spin Valves," *同上*, BQ-12, 2000.
- [5] Koganezawa, S., "Dual-Stage Actuator System for Magnetic Disk Drivers using Shear Mode Piezoelectric Micro-Actuator," *IEEE Transactions on Magnetism*, vol.35, no.2, pp.988-992, 1999.
- [6] 青柳充彦, "소형 HDD의 동향," *영상정보미디어학회지*(Japan), 1999
- [7] Mike Suk, "Head-Disk Interface : Migration from Contact-Start-Stop to Load/Unload," *한국 소음진동공학회지*, 제 9권 제4호, 1999년

● 참고 문헌 ●

[8] T. R. Albrecht, F. Sai, "Load/Unload Technology for Disk Drives," IEEE Transactions On Magnetics, Vol. 35, No. 2, March 1999
 [9] T. R. Albrecht, F. Sai, IBM, "Load/Unload technology finds home in mobile drives," DATA STORAGE, September 1998
 [10] T. Patterson, F. Esfandiari, Smartflex Systems, "HDD data-rate demands focus on materials, interconnects," DATA STORAGE, December 1999
 [11] K. H. Cha, K. H. Chung, and D. E. Kim, "Effect of Slider Load on the Wear Debris Contamination Tendency of Head/Slider," IEEE Trans Magn., Vol.35, pp.2355-2357, 1999.
 [12] A. K. Menon, "Interface Tribology for 100 Gb/in²," Tribology International, Vol.33, pp.299-308, 2000.
 [13] Q-H Zeng, D. B. Bogy, "Slider Air-Bearing Design for Load/Unload application," IEEE Trans Magn., Vol.35, pp.746-751, 1999.
 [14] Evans R.B., Griesbach J.S. and Messner W.C., "Piezoelectric Microactuator for Dual Stage Control," IEEE Trans. on Mag., 35, pp. 977-982, 1999.
 [15] Evans R. and Carlson P., "Two-stage microactuator keeps disk drive on track," Data Storage, 5, Issue 5, 1998.
 [16] 이호성, Lin Guo, "하드디스크 드라이브 Dual Actuator 기술의 동향," ICASE Magazine, Vol. 6, No. 2, 2000.
 [17] Iwasaki, S. and Nakamura, Y., "An Analysis for High Density Magnetic Recording," 同上, Vol. MAG-13, pp.1272-1277, 1977.



박 노 철

- 1986년 : 연세대학교 공과대학 기계공학과, 공학사
- 1988년 : 연세대학교 공과대학 기계공학과, 공학석사
- 1997년 : 연세대학교 공과대학 기계공학과, 공학박사
- 현재 : 연세대학교 대학원 정보저장공학협동과정 조교수, 연세대학교 정보저장기기연구센터 운영위원
- 연구관심분야 : 정보저장기기의 초정밀 제어, 정보저장기기의 Mechanism 설계 및 해석, 차세대 정보저장기기의 광학시스템 설계



양 현 석

- 1984년 : 연세대학교 공과대학 기계공학과, 공학사
- 1988년 : M.I.T. Mechanical Eng., M.S.
- 1993년 : M.I.T. Mechanical Eng., Ph.D.
- 현재 : 연세대학교 기계전자공학부 부교수, 연세대학교 정보저장기기연구센터 연구부장
- 연구관심분야 : 정보저장기기의 초정밀 서보제어, 초정밀 위치결정 메카니즘의 설계 및 제어, 로봇의 힘/위치 제어, 각종 기계시스템의 제어



임 윤 철

- 1978년 : 연세대학교 공과대학 기계공학과, 학사
- 1980년 : 한국과학기술원 기계공학과, 석사
- 1988년 : Rensselaer Polytechnic Institute, Ph. D.
- 현재 : 연세대학교 기계전자공학부 교수, 연세대학교 정보저장기기연구센터 부센터장
- 연구관심분야 : 유체역학, 윤활공학



박 영 필

- 1971년 : 연세대학교 공과대학 기계공학과, 학사
- 1975년 : University of Texas Tech. Mechanical Eng., M.S.
- 1977년 : University of Texas Tech. Mechanical Eng., Ph.D.
- 현재 : 연세대학교 기계전자공학부 교수, 연세대학교 정보저장기기연구센터 센터장
- 연구관심분야 : 정밀기기의 Nano-meter급의 진동제어, 광 데이터 저장기기의 Mechatronics, 자기 데이터 저장기기의 Mechatronics, 자동차, 철도차량 및 비행구조물의 동적해석, 각종 산업기계의 진동해석, Missile, Rocket등의 비행안정성 해석