

광 디스크 드라이브의 메카니즘과 진동·소음

노대성*·정진태**

(*삼성전자(주) · **한양대학교)

1. 머리말

컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어가 발전하면서 사용 데이터 양이 급격히 증가함에 따라 기존의 하드 디스크와 플로피 디스크 만으로 데이터를 저장할 수 없기 때문에 이에 대한 하나의 해결방안으로 보다 저장능력이 큰 광디스크가 등장하게 되었다. 초기의 광디스크인 CD(compact disk)는 주로 오디오용 CD 플레이어에 사용되었는데, 기존의 아날로그 방식인 LP 레코드보다 디지털 방식의 CD가 용량이나 음질면에서 월등히 우수한 성능을 갖고 있기 때문에 현재 LP 레코드가 거의 CD로 대체되었다.

CD의 방식을 컴퓨터에 적용하여 CD-ROM(compact disc-read only memory)이 개발되었으며, 현재 CD-ROM은 컴퓨터의 새로운 보조기억장치로 각광을 받고 있다. CD플레이어의 속도와 같은 정배속의 CD-ROM 드라이브로부터 발전을 거듭하여 현재 12배속, 20배속의 드라이브가 주종을 이루고 있고, 곧 24배속 이상의 드라이브들이 출시될 예정이다.

차세대 광디스크로 불리우는 DVD(digital video disc)는 CD-ROM에 비교하여 대용량의 데이터를 저장할 수 있으며 일부 회사에서 개발완료되어 실용화를 눈앞에 두고 있다. DVD는 현재 사용 중인 직경 12cm의 광디스크안에 동화상을 MPEG 2라는 압축방식으로 수 GB 용량의 데이터를 저장할 수 있는 기억장치이다. 이와 더불어 디지털 화상압축방법

이 종래 TV 화면 한 장 만을 압축처리하는 방식에서 일련의 화상정보를 동시에 압축하는 방식으로 발전하였다.

데이터를 재생만 할 뿐 기록할 수 없는 CD-ROM의 단점을 극복하여 VTR처럼 반복적으로 기록과 재생을 할 수 있는 기록매체인 CD-RW(compact disc rewritable)도 곧 개발예정이다. 이와 더불어 용량이 큰 화상파일을 저장하는 기록매체의 주류를 이루고 있는 VTR의 역할을 대신할 VDR(video digital recoder)의 개발이 DVD의 개발과 병행되고 있다. 이처럼 빠른 속도로 발전하는 광디스크는 차세대 멀티미디어 저장장치의 중심이 될 것으로 기대된다.

차세대 광디스크인 DVD는 2시간 분량의 고품위 MPEG 2 디지털영상을 디스크 한 면에 저장할 목표로 하므로, 현재 사용하는 CD-ROM의 4배 이상의 고밀도 광디스크가 요구된다. 기록밀도의 기준인 TPI(tracks per inch)와 PPI(pits per inch)가 CD-ROM의 경우에 비해 DVD의 경우에 각각 2배로 증가한다. 이러한 고밀도의 광디스크로부터 데이터를 작동오차 없이 재생하기 위해서 레이저의 파장을 짧게하고 대물렌즈의 개구수(NA)를 증가시키는 등 여러 방법이 강구되고 있다. 이와 동시에 재생하려는 데이터가 기록되어 있는 트랙에 레이저가 빠른 시간내에 정확히 초점을 맞추기 위해 트래킹 서보(tracking servo)와 포커싱 서보(focusing servo)가 더욱 정밀해지고 있다.

기존의 저배속, 저밀도의 광디스크 드라이브에서 데이터를 재생할 때 진동과 소음의 제

어는 상대적으로 용이하였으나, 고배속·고밀도의 광디스크 드라이브에서의 진동과 소음문제는 광디스크 드라이브 개발의 심각한 장애로 대두되고 있다. 고배속·고밀도 광디스크 드라이브에서 트랙과 초점의 벗어남 (off-track과 off-focusing)에 의한 작동오류를 서보제어 기술로만 극복하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 진동제어에 의한 광디스크 드라이브의 동적 안정성 확보는 신뢰성있는 광디스크 드라이브의 개발에 필수적이다. 이와 동시에 정숙한 컴퓨터 개발 추세에 따라 저소음 광디스크 드라이브의 개발이 요구되고 있다. 왜냐하면, 배속수가 증가함에 따라 소음의 크기도 증가하기 때문이다. 과거의 광디스크 드라이브의 진동·소음 문제가 크게 부각되지 않았으나 고배속·저밀도의 광디스크 드라이브의 개발에 따라 진동·소음에 대한 연구의 필요성이 증대할 것이다. 따라서 본 글에서 광디스크 드라이브의 구조 및 작동원리, 그리고 소음 진동 문제를 소개하고자 한다.

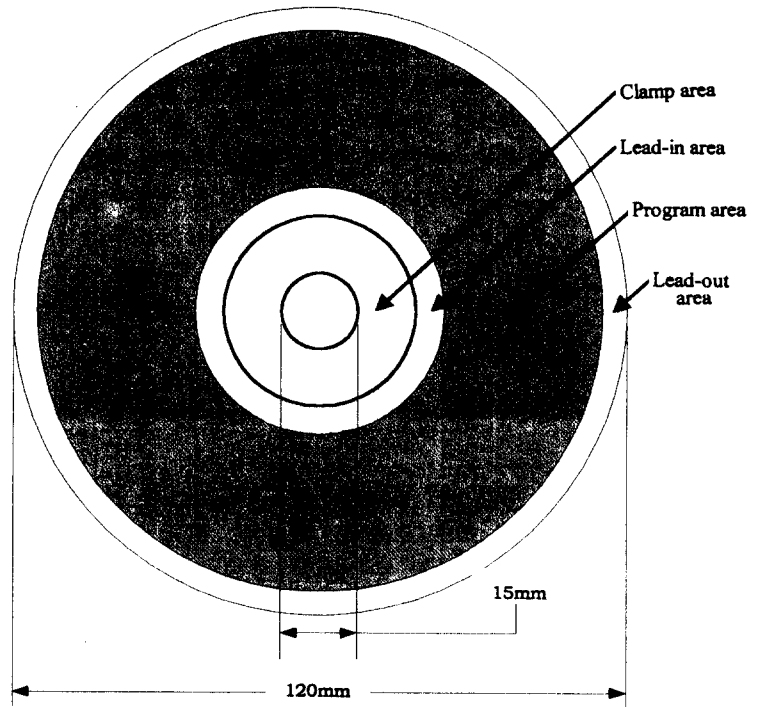


그림 1 광디스크의 구조

2. 광디스크의 구조

광디스크는 그림 1과 같이 외경이 120 mm 이고 내경이 15 mm인 환형의 형상을 하고 있다. 광디스크는 클램프부, 리드인부(LIA: lead-in area), 프로그램 부(PA: program area), 리드아웃부(LOA: lead-out area) 등 4부분으로 구분할 수 있다.

광디스크의 장착시 편심을 감소시키기 위해 광디스크 중심에 직경 15 mm의 센터홀이 있고 센터홀 주변에 디스크를 상하로 고정하기 위한 클램프부가 설계되어 있다. 그러나 실제로 고정하기 위해 클램퍼와 접촉하는 부분은 내경 27 mm, 외경 32 mm 사이 부분이다.

리드인 부분은 TOC(table of contents)라고 불리기도 하는데 이 부분에 디스크의 각 트랙에 저장된 정보의 내용이 기록되어 있다. 프로그램부는 실제 이용될 정보가 기록되어 있는 영역이며 디스크의 내경 50 mm에서부터 외경 116 mm까지의 부분이다. 그리고 리드아웃부는 2 Hz의 반복 펄스가 기록되어 기록된 정보의 마지막을 표시한다.

그림 2는 CD-ROM과 DVD의 기록밀도를 비교한 것이다. CD-ROM과 DVD의 내경과

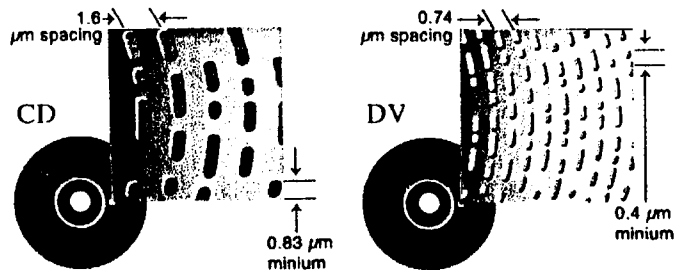


그림 2 CD-ROM과 DVD의 비교

외경은 동일하지만 데이터를 저장하는 요철인 pit의 크기와 pit의 배열 밀도에서 차이가 있다. 데이터는 광디스크에 나선모양으로 연결된 1개의 트랙상에 기록되는데, 이 트랙사이의 거리 즉, 트랙 피치는 CD-ROM의 경우 1.6 μm 이고 DVD의 경우 0.74 μm 이다. 디스크 한 면에 CD-ROM의 경우 약 2만개의 트랙이 있고 그 전체 길이는 5 km에 달하며, DVD의 경우는 거의 그 배가 넘는다. 그리고 최소 pit의 크기도 CD-ROM인 경우 0.83 μm 인데 반해 DVD는 0.4 μm 이다.

광디스크의 총두께는 1.2 mm로, 투명한 플라스틱 층과 레이저를 반사하기 위한 알루미늄 막, 그리고, 데이터를 보호하기 위한 수지층으로 구성되어 있다. 플라스틱 층의 재질

은 내열성, 내습성, 성형성 및 광학적인 특성(굴절율, 복절율 등)을 고려하여야 하는데 주로 폴리카보네이트라는 재료가 이용된다. 이 플라스틱 면에 데이터 신호를 표시하기 위해 요철을 만드는데 이를 피트라 하고, 이를 만드는 재료로는 네트라는 재료를 이용한다. 레이저를 반사하기 위한 알루미늄 막은 특성상 높은 반사율을 가져야 하며 그 두께는 약 0.1 μm 이다. 수지층은 데이터를 보호하기 위해 단단한 수지로 만들어진다.

3. 광디스크 드라이브의 구조

광디스크 드라이브의 구조는 그림 3에서 보듯이 크게 로딩계, 피딩계, PCB계, 프레임계로 구분할 수 있다. 로딩계는 광디스크의 탈착을 위한 트레이와 트레이의 이송을 담당하는 로딩 모터로 구성되며, PCB계는 신호 처리 및 서보제어를 위한 각종 칩 및 전자부품이 장착되어 있다. 프레임계는 주 프레임, 상부 프레임, 하부 프레임으로 구성되어 광디스크 드라이브의 외관을 형성한다. 그리고 피딩계는 광픽업과 광픽업의 이송을 담당하는 피딩 모터, 광디스크를 회전시키는 스피들 모터로 구성되어 있으며, 4개의 고무 댐퍼에 의해 주 프레임에 장착되어 있다. 피딩계의 각 부 명칭을 그림 4에 도시하였다. 피딩계가 데이터 재생의 핵심이기 때문에 이에 대해 자세히 알아 보도록 하자.

3.1 픽업

픽업은 광디스크 상의 데이터가 기록된 위치에 레이저를 입사시켜 그 반사광을 받아들여 광신호를 디지털 신호로 변환하는 장치이다. 레이저 다이오드로 부터의 3mW의 직선 편광은 회절격자에 의해 3개의 광으로 분리되며, 2개의 광은 트랙 검출 용으로 다른 하나의 광은 초점 검출용 및 기록신호 재생용으로 사용된다. 광디스크의 반사면에서 전반사된 광은 대물렌즈와 거울을 거쳐 포토 다이오드에 도달하여 광디스크에 기록된 정보를 재생한다.

3.2 피딩모터와 이송장치

픽업 이송장치는 픽업을 광디스크 상의 데

이터가 기록된 장소까지 픽업을 이송해주는 장치이다. 픽업 이송장치는 트래킹 서보의 안정성을 떨어뜨리지 않도록 하기 위하여 되도록 기동전압이 낮도록 설계되어야 하며, 디스크의 편심, 픽업의 트래킹 다이내믹 레인지 등을 고려하여 이송량을 정하여야 한다. 그리고 동작시 소음과 진동을 작게 하기위한 설계가 필요하다.

픽업 이송장치는 일반적으로 기어 구동 방식인 랙 피니언(rack-pinion)방식, 이송 스크류 방식과 리니어 모터(linear motor)방식으로 나뉜다. 랙 피니언 방식은 전달 효율이 좋으나 부품수가 많고 고속주행시 소음이 큰 결점이 있다. 이송 스크류 방식은 구조가 간단하고 고속주행시 소음이 작으나 전달 효율이 떨어져 회전토크가 큰 모터를 필요로하며 가공이 어렵다. 그리고 리니어 모터방식은 고속이동과 정밀이송이 가능하고 고속주행시에도 소음이 없으며 신뢰성과 내구성이 우수하고 픽업 드라이빙 모터가 필요없으므로 구조가 간단하다. 그러나 중력으로 인한 이송오차가 발생하므로 포터블(portable)방식에 부적당하다.

3.3 스피들 모터

스피들 모터는 일반적으로 brush DC모터와 brushless DC모터 두 종류가 있다. Brush DC모터는 가격이 저렴하고 모터전용 구동제어 회로를 필요로 하지 않지만 소음과 진동이 심하고 토크가 작은 편이다. Brushless DC모터는 상대적으로 가격이 비싸고 모터전용 구동제어 회로를 필요로 하지만 소음과 진동이 작고, 토크가 크다.

모터는 디스크나 광 픽업의 수명에 비해 더 긴 수명을 가져야 하므로 일반적으로 1000 시간 이상은 품질이 보증되어야 한다. 토크는 디스크의 편심추적, 기동시간, 및 데이터의 액세스 시간의 각 파라미터에 의해 결정되나, 일반적으로 컨트롤 전압내에서 정격 10 gr. cm 이상을 필요로 한다. 진동 방지를 위해 모터 축의 경사를 0.2° 이내로 관리할 필요가 있다. 축이 기울어 있으면 디스크면에 대한 scew각도의 문제로 동적 성능이 나빠지기 때문에 축의 흔들림은 가능한한 최소화 하는 것이 좋다. 축 흔들림이 크면 외란(외부진동)에

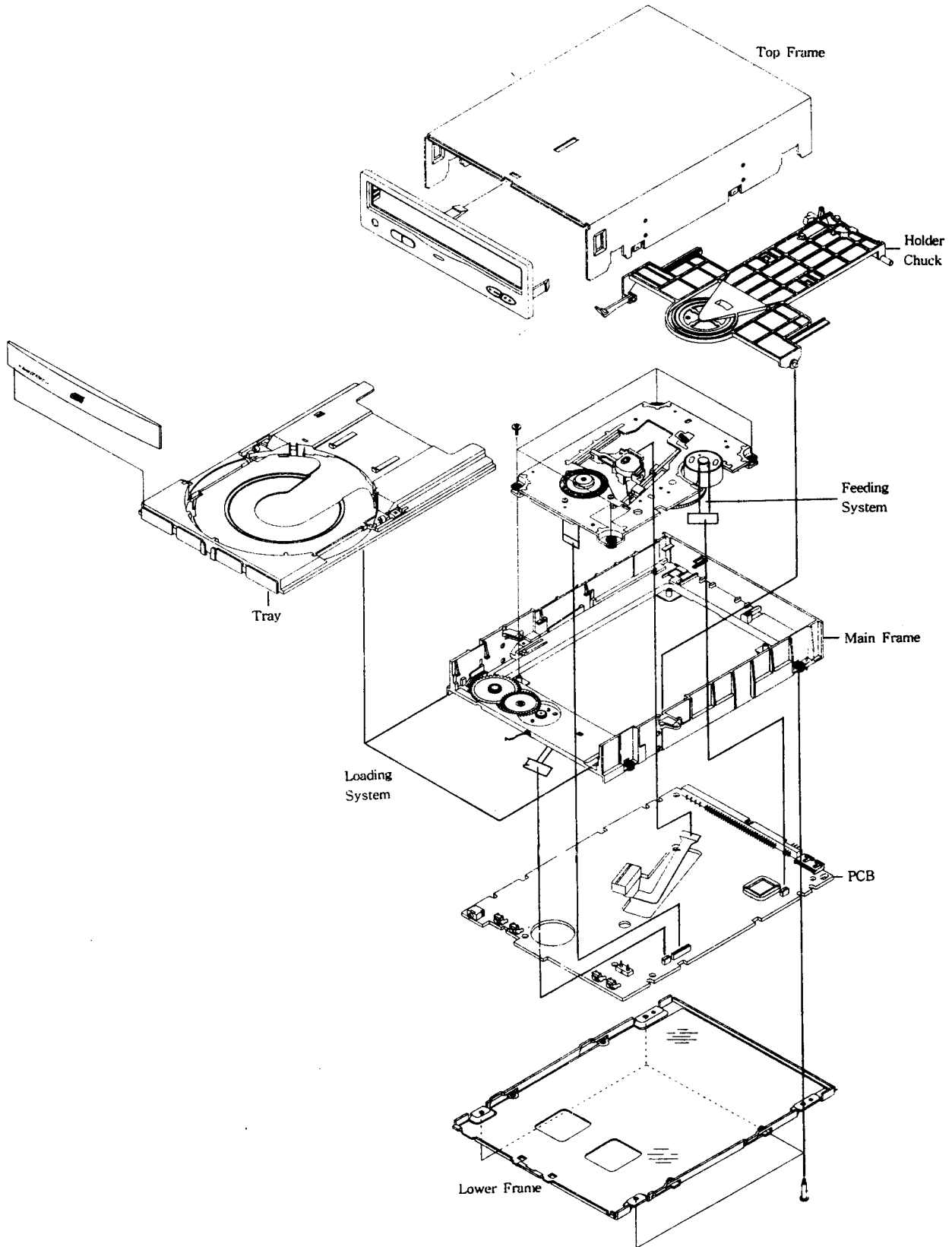


그림 3 광디스크 드라이브의 구조

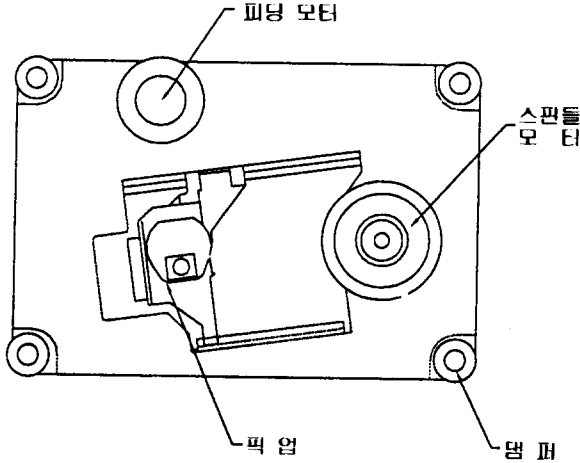


그림 4 피딩계의 구조

의해 축이 흔들려서 데이터 트랙을 점프하는 원인이 된다. 특히 포터블 타입의 경우는 드라이브의 사용자가 여러 가지로 이용되기 때문에 외란이 많아져 주의하지 않으면 안된다.

3.4 클램프

광디스크가 회전 중에 디스크의 진동이 있으면 데이터 전송에러가 일어난다. 클램프는 디스크를 디스크 모터 축 중심에 편심이 안되게 확실히 안착시켜 디스크 모터의 회전을 정확히 전달하는 역할을 한다.

광디스크를 클램프하는 방식에 따라 마그넷 클램프와 기계식 클램프로 나뉜다. 마그넷 타입은 자력을 이용하여 디스크를 고정하기 때문에 디스크 테이블이 필히 철소재를 많이 함유한 수지 성형품, outsert물, 절삭물이어야 한다. 마그넷의 종류는 ferrite magnet을 많이 쓰고, 흡착력을 높이기 위해 yoke를 사용한다. 기계식에 비해 가격이 비싸지만 클램핑 효과가 좋고 서보 안정성도 좋다. 기계식 클램프는 스프링의 반발력으로 디스크를 고정하는 방법이다. 가격은 경제적이지만 클램핑 효율은 떨어지는 편이다.

클램프에 필요한 힘의 크기는 200 gf~300 gf 정도가 적당하다. 클램프에 요구되는 힘의 크기가 더 크면 기계식 클램프에서는 디스크 모터의 축 받침부 내압의 수명에 영향을 준다. 디스크의 흔들림은 포터블에서 0.02~0.03 이하, 거치형에서 0.04~0.06 이하로 억제하는 것이 이상적이다. 그리고 테이블

블과 모터 축의 결합되어 있는 상태에서 제품 낙하시험 등을 예상하여 테이블위치가 변화하지 않을 정도의 테이블 트러스트 내압이 필요하다.

3.5 메카샤시 (Mecha Chasis)

메카 샤시는 피딩 모터, 스프indel 모터, 픽업과 이송기구를 장착하는 부위를 말하며 전송된 각 기능을 유지하기 위하여 적당한 강성을 필요로 한다. 그리고 각 취급사에서의 제품 낙하시험에 의해 변형이나 파손이 발생해서는 안된다.

1) 종류

-판금 샤시 : 냉간압연 강판(SPCC)을 프레스 가공한 후의 샤시를 말한다.

-판금 샤시 수지 outsert : 표면적으로 고정성과 복잡한 형상을 용이하게 성형하여 수지의 성질을 잘 이용한 것으로 샤시의 전체 용적을 작게 할 수 있다.

-수지성형 : 포터블형에 적합하다. 포터블형은 소형, 경량, 다기능을 추구하기 때문에 샤시의 구조가 특히 간단하여 수지성형의 성질을 충분히 활용할 수 있다.

2) 성능

메카 샤시의 기준면의 평면도는 일반적으로 포터블은 0.1 이하, 거치형은 0.2 이하로 갖출 필요가 있다. 이 수치가 크게 되면 디스크면에 대한 scuw 문제로 성능이 악화된다.

4. 광디스크 드라이브 각부의 기능

광디스크 드라이브는 그 기능에 따라 광 픽업계, 모터구동계, 서보제어계 그리고 신호처리계로 구분된다.

4.1 광 픽업계

광픽업은 디스크 표면에 레이저를 입사시켜, 요철면으로 부터의 반사광에 따라 데이터를 읽어내는 역할을 한다. 광픽업은 디스크 표면을 반지름 방향으로 가로지르며 움직이는 아암(arm)에 붙어 있고, 레이저 다이오드, 빛감지기, 렌즈 등으로 이루어져 있다. 빛감지기는 여러개의 포토 다이오드로 구성되는데 이들은 레이저 빛이 제대로 트랙을 따라 비추고 있는지 확인하고 데이터면의 빛의 양을

감지해 전기적인 신호로 변환시켜 신호처리 부분으로 전달하는 역할을 한다.

4.2 모터구동계

모터구동계는 광디스크를 회전시키는 디스크 모터와 광픽업을 이송시키는 광학계 송출 모터가 있다. 수평로딩 타입의 경우 디스크 트레이를 슬라이드 시키는 로딩 모터가 추가로 구성된다. 디스크 모터는 모터구동 서보회로에 의해 제어되는데, 이 서보회로는 디스크를 CLV(constant linear velocity)로 회전시키기 위해 디스크의 데이터를 읽는 지점에 따라 적절한 속도로 디스크 모터를 회전시킨다. 정배속일 경우 디스크 안쪽을 읽을 때에 500 rpm, 바깥쪽을 읽을 때에는 200 rpm 정도이다.

4.3 서보 제어계

서보 제어계는 ALPC(automatic laser power control), 포커싱 서보, 트래킹 서보, 스핀들 서보, 슬레드 서보로 나눌 수 있는데 이들을 상술하면 다음과 같다.

가) ALPC : 레이저 출력 변동시 발생하는 리드 에러를 줄이기 위해 레이저의 안정된 광량을 제어하는 역할을 한다.

나) Focusing servo : 레이저 빔이 항상 광디스크의 pit의 위치에 맞춰지도록 광학계로 검출된 초점위치 정보를 토대로 대물렌즈를 움직이는 액츄에이터에 의해 초점을 제어한다. 주로 광디스크의 면진동을 보상할 수 있다.

다) Tracking servo : 레이저 광이 항상 트랙을 따르도록 광학계로 검출된 트랙위치 정보를 토대로 대물렌즈를 움직이는 액츄에이터에 의해 광 위치를 제어한다. 주로 광디스크의 편심에 의한 진동을 보상할 수 있다.

라) Spindle servo : 광디스크에서 읽어낸 클락신호를 토대로 디스크의 회전속도, 위치(위상)를 제어하고 일정한 선속도로 디스크의 회전을 제어하는 역할을 한다.

마) Sled servo : 픽업을 내주에서 외주까지 보내기 위해 액츄에이터의 움직임 정보에 따라 슬레드 구동기구의 모터를 제어하고 내주에서 외주까지의 나선모양의 트랙을 추종할 수 있도록 제어한다.

4.4 신호처리계

신호처리계는 그림 5와 같이 크게 픽업, RF-AMP, DSP, 디코더로 이루어져 있다. 픽업에서 받아들인 신호는 정형되지 않은 아날로그 신호로서 데이터신호에 잡음이 섞여 있어 파손이 일어나기 쉽다. 픽업에서의 신호가 RF-AMP를 거치면 아날로그 형태를 유지하나 임피던스가 낮아져 외란에 강인한 신호가 된다. RF-AMP로 부터 나온 신호가 DSP칩을 통과하면 비로소 디지털 형태의 신호로 변환되며, 신뢰할 수 있는 정보를 가지게 된다. 마지막으로 디코더를 통과하면 데이터가 완벽하게 재생되어 호스트 컴퓨터에서 정보를 사용할 수 있다.

5. 광디스크 드라이브의 진동과 소음

앞에서도 언급한 바와 같이 광디스크가 발전하면서 그 데이터의 기억용량과 전송속도는 엄청난 발전을 하였다. 이와 더불어 광디스크 드라이브의 회전수도 빠른 속도로 증가하였는데 이는 광디스크 드라이브에 진동과 소음을 발생시키는 원인이 되고 있다. 이런 진동과 소음은 안정적인 데이터 전송에 치명적인 에러를 일으키는데 이를 방지하기 위해서는 광디스크의 동적 안정성 확보가 필수적이다.

5.1 진동과 소음의 원인

서보제어 기구들은 저속의 드라이브에서는 그 기능이 크게 문제가 없었으나 광디스크 드라이브가 고배속화 됨에 따라 광디스크 드라이브의 기계적인 동적 안정성이 확보되지 않고 서보 제어만으로 데이터를 읽어들이는 것은 거의 불가능하게 되었다.

광디스크 드라이브에서의 진동과 소음은 크게 드라이브 내부에서 발생하는 내부진동과 외부에서 발생하는 외부진동으로 나눌 수 있다. 내부에서 발생하는 진동과 소음은 주로 광디스크의 동적 불안정, 광디스크의 질량 편



그림 5 신호처리계에서의 신호흐름

심과 편향, 스피들 모터의 기울어짐, 턴테이블의 편향 등에 의한 것으로 나눌 수 있으며 외부에서 발생하는 진동원은 외부환경에서 발생하는 진동이나 충격 등으로 나눌 수 있다.

내부에서 발생하는 진동은 데이터 재생의 오류를 발생시킬 뿐만 아니라, 광디스크 드라이브와 컴퓨터 본체를 진동시킴으로써 소음을 유발한다. 외부에서 발생하는 진동과 충격은 광디스크 드라이브에서의 스킵핑(skipping) 현상을 일으키는데 이 스킵핑은 일반 LP레코드에서 흔히 경험하듯이 판이 튀는 식으로 데이터를 읽어 에러를 유발시킨다. 이는 외부에서의 진동과 충격이 공기를 매체로 혹은 구조물을 타고 전달되어 광디스크의 진동을 유발시키거나 혹은 광픽업 및 스피들 모터를 장착하고 있는 구조를 진동시켜 결국 광디스크와 광픽업간의 상대운동을 유발시켜 픽업이 광디스크의 트랙을 추종하지 못하도록 한다.

5.2 광디스크 드라이브 진동과 소음 대책

광디스크 드라이브의 진동, 소음 문제를 해결하기 위해 진동과 소음이 어떻게 발생되어 전달되며, 어느 부위에 치명적인 영향을 끼치는가를 규명할 필요가 있다. 이를 위해 진동과 소음 관점에서 광디스크 드라이브를 소음·진동원(source), 전달경로(path)와 리시버(receiver)로 구분하여 진동과 소음 대책을 강구하여야 한다.

광디스크 드라이브에서 소음·진동원은 앞에서 언급한 바와 같이 외부 진동원과 내부 진동원으로 구분할 수 있다. 진동을 최종적으로 감지하여 드라이브 성능에 영향을 미치는 픽업과 광디스크면이 리시버에 해당한다. 그리고 전달경로에 해당하는 것은 픽업과 광디스크가 장착되는 피딩계, 프레임, 댐퍼, 컴퓨터 본체 그리고 주변의 공기 등이 이에 해당한다.

소음·진동원에 대한 적극적인 방진, 방음 대책은 소음·진동원 자체를 제거해 주는 것이다. 외부진동의 제거는 현실성이 없으므로 논외로 하고 내부 진동원의 제거는 광디스크의 편심을 줄이기 위해 광디스크가 장착되는 턴테이블과 클램프의 정밀도를 높이는 방법과

편심량을 자동으로 상쇄시키는 새로운 매커니즘이 개발되고 있다. 그리고 픽업 이송장치에서 발생하는 진동을 줄이기 위해 래크와 피니언에서의 진동원을 제거하는 방법이 강구되고 있다.

소음·진동의 전달 경로에 관심을 둔 소음·진동 대책은 소음·진동원에 대한 전달경로의 특성을 조정하는 방법이다. 예를들어 광디스크와 픽업이 장착된 피딩계를 지지하는 댐퍼의 강성과 감쇠량의 설계를 픽업의 트래킹과 포커싱 방향의 고유진동수와 스피들 모터의 회전주파수 등을 고려하여 수행한다. 그리고 댐퍼의 최적위치를 선정하여 피딩계의 강체 진동 모드를 조정하여 성능을 높이는 방법도 전달경로를 개선하는 하나의 방법이다.

6. 맺 음 말

과거의 광디스크 드라이브는 저밀도, 저배속이기 때문에 진동과 소음이 크게 문제시 되지 않았다. 그러나 DVD와 같이 고밀도의 광디스크가 개발되고 배속수가 증가함에 따라 광디스크 드라이브에서 진동·소음은 제품의 신뢰성과 시장성에 가장 큰 영향을 끼치는 요소 중의 하나가 되었다. 그러나 현재까지 컴퓨터 하드 디스크 드라이브에 대한 진동연구에 비해 광디스크 드라이브에 대한 진동연구가 미비한 실정이다. 따라서 앞으로 광디스크 드라이브의 진동에 대한 폭넓고 깊이 있는 연구가 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) 일본기계학회, 1996, 情報機器のグイナミックスと制御, 養賢堂.
- (2) 石田禎宣 木月健治朗, 1995, "DVD/次世代 CD 實用化 設計と最新技術" 電子技術, pp. 6~14
- (3) 박준민, 노대성, 정진태, 1996, "CD-ROM 드라이브 피딩 시스템의 진동해석", 한국소음진동공학회 추계 학술대회는문집, pp. 324~329.