

광디스크 드라이브의 입자 오염 및 열축적 제어를 위한 설계 제안

오 서 영* · 황 정 호†

(2002년 4월 6일 접수, 2002년 11월 15일 심사완료)

Control of Particle Contamination and Heat Build-Up for Noble Design of an Optical Disk Drive

Seo-Young Oh and Jung-Ho Hwang

Key Words : Optical Disk Drive(광디스크 드라이브), Particle(입자), Contamination(오염), Heat build-up(열축적), Sealing(밀폐), Heatproof(방열), Fan(팬), Filter(필터)

Abstract

Airborne contaminant particles are intruded into optical disk drives(ODD) due to the flow caused by disk rotation and can be adhered to lens or disk surfaces, which causes decrease of laser power and increase of read/write errors. Such a phenomenon can be more serious as the space between the disk and the lens is reduced for high-density storage devices. The purpose of this paper is to understand design parameters to reduce the particle intrusion into an ODD. Suggestions are made to prevent the particle intrusion that can decrease the stability of an ODD and also prevent the potential heat build-up problem. The sealing effect of drive and the forced injection of clean air (using HEPA filter) into the drive minimizes intrusion of the outside air and dusts in an ODD remarkably. Moreover it is proved by experiments that the installation of a heatproof pad to isolate heat generation part (PCB) from information read/write sections and the forced injection of dust-free air reduce the gas temperature inside the drive as well as the amount of particles intruded.

1. 서 론

정보화 사회로의 급격한 변화에 따라 다양한 정보저장매체가 개발되어 왔다. 이를 크게 분류하면 자기 디스크 드라이브(Magnetic Disk Drive)와 광디스크 드라이브(Optical Disk Drive)로 나눌 수 있다. 두 기기의 큰 차이점으로는 전자는 자기(magnetic)를 사용하고 내장형 매체(non-removable media)를 이용하지만, 후자인 ODD의 경우는 광(optics)을 이용하고 들고 다니는 매체(removable media)를 사용한다는 것이다. 광디스크 드라이브의 경우 뛰어난 탈착성, 데이터 보관의 편리성, 저렴한 미디어의 가격 등에 있어 자기 디스크 드라이브에 비하여 많은 장점을 지니고 있지만, 상

대적으로 낮은 데이터 저장용량과 느린 액세스 타임(access time) 등이 문제점으로 지적되고 있다.

최근 들어 이러한 광디스크 드라이브에서 디스크의 회전속도 증가와 액츄에이터의 고속화 및 경량화, 렌즈와 디스크 사이의 간격을 좁게 하여 기록/재생시 사용하는 빔 스폿 사이즈(beam spot size)를 작게 하여 위에서 언급한 문제점을 해결하고 있다. 이는 광디스크 드라이브의 사용이 더욱 더 보편화되고 있다는 것을 의미한다.

이로 인하여 광디스크 드라이브내에서 지금까지 중요시되지 않았던 드라이브내의 오염문제가 핫 이슈로 떠오르고 있다.^(1,2) 일반적인 ODD 시스템에서는 작은 먼지 입자들에 의해 생기는 에러가 그리 흔하지 않다.⁽³⁾ 이는 렌즈와 디스크 사이의 공간이 상당히 넓고, 먼지가 디스크에 부착된다고 하더라도 디스크에 맺히는 광 스폿(spot)의 크기가 부착된 먼지의 크기보다 수 백배 이상 크기 때문에 큰 영향을 주지 않는다. 또한 에러 정정 코드(error correction code)의 사용으로 일반 사용자가 데이터를 읽고 쓰는 데 별 어려움이 없

* 연세대학교 대학원 기계공학과

† 책임저자, 회원, 연세대학교 기계공학과

E-mail : hwangjh@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-2821, FAX : (02)312-2159

다. 하지만 실제로 디스크나 렌즈에 많은 입자가 부착될 경우 여러 가지 문제점을 보인다. 예를 들면, 여러 정정 코드가 많이 사용됨에 따라 속도가 그만큼 느려지고, 오염이 심각한 수준에 이르면 데이터 사용이 불가능해지기도 한다. 그리고 spot의 크기가 감소함에 따라 많은 입자나 부유 물질이 디스크 표면에 부착되거나 렌즈에 부착된 경우 광 산란이 발생하므로 노이즈(noise)나 데이터 기록/재생의 오류가 발생할 가능성은 증가한다.⁽⁴⁾ 또한 디스크의 회전속도가 증가하면 드라이브 주위와 드라이브 내부의 압력차이가 증가하여 입자의 오염물질이 포함된 외부의 공기가 유입될 가능성도 증가한다.⁽⁵⁾ 이러한 현상은 차세대 광 드라이브 기술로 예측되는 NFR(Near Field Recording) 방식에서도 문제점으로 지적되는 현상이다.⁽³⁾ 따라서 광 디스크 드라이브는 입자에 의한 영향이 계속 증가하고 요구되는 내부 청정도도 증가할 것이므로, 기록/재생의 안정성을 향상시키기 위해서는 이에 관한 연구가 필요하다.

지금까지 진행된 ODD 내의 입자오염 문제를 해결하기 위한 연구 중 특허를 살펴보면 Engler⁽⁶⁾와 Neyagawa⁽⁷⁾는 드라이브의 밀폐를 이용하여 오염 문제와 열 문제를 줄이려 했으며, Takita⁽⁸⁾와 Tsurushima⁽⁹⁾는 렌즈 주위 및 기구 형태의 변형으로 주요 부위의 오염문제를 해결하려 하였다.

일반적으로 CD, DVD 등 광디스크 드라이브의 경우 주변 공기와 완전한 밀폐상태가 아니기 때문에 공기 중에 있는 입자들이 그대로 유입되어 영향을 미칠 확률이 높다.^(3,10,11) 따라서 드라이브 내

로의 입자유입을 최대한 막는 것이 가장 일반적인 오염문제 방지법이라고 할 수 있다. 하지만 드라이브의 밀폐는 드라이브내의 통풍을 막아 열축적이라는 또 다른 문제가 발생할 수 있다.⁽¹²⁻¹⁴⁾ 이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 드라이브 밀폐와 깨끗한 공기의 주입, 방열판의 설치로 그 효과를 살펴보고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 입자유입 측정

본 실험을 통하여 실제 ODD의 구동/정지를 반복했을 때 드라이브 내부로 먼지가 유입되는 정도를 조사하고, 드라이브의 밀폐 효과를 살펴봄으로써 먼지에 의한 영향에 대하여 최적의 작동 조건 등을 구하고자 하였다. 실험은 class 100의 클린부스(clean booth)에서 수행하였으며, 드라이브 주위에 일정한 농도의 먼지입자를 유지시키기 위하여 드라이브 외부에 아크릴 챔버와 먼지 공급 장치를 설치하여 드라이브 주위의 먼지 농도를 변화시켰다. 실험에 SiC 입자를 사용하였는데, 이는 입자의 분무와 정성적인 실험의 결과를 얻는데 효과적이었다. SiC 입자 공급장치로는 분무기(atomizer)를 사용했으며 발생된 입자의 평균 크기와 기하학적 표준편차는 각각 $0.8\mu\text{m}$ 와 1.5였다. 실험에 사용된 입자계수기는 샘플링 유량이 0.3 L/min , 최소 측정 가능 입자의 크기가 7 nm 인 CPC (TSI 3022)와 샘플링 유량이 5 L/min , 측정입자 범위가 $0.5 \sim 20\mu\text{m}$ 인 APS (TSI 3320)을 사용하였다. CPC는 입

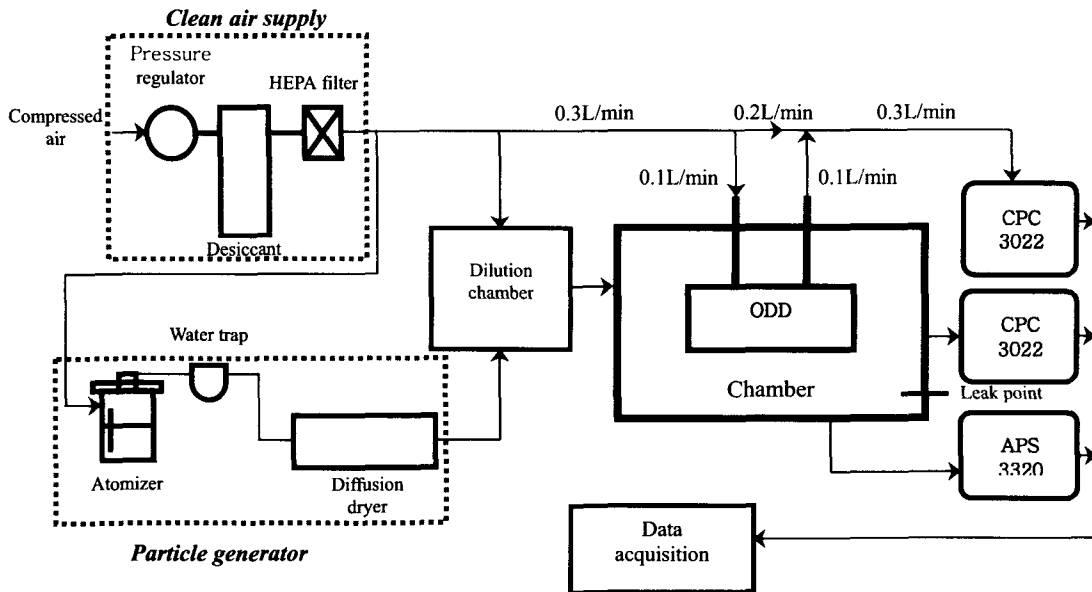


Fig. 1 Experimental set-up

자의 크기와는 상관없이 수농도만 측정이 가능하고, APS는 크기별 수농도를 측정할 수 있는 장비이다.

실험방법은 Fig. 1과 같이, 압축 공기를 이용하여 분무기에서 SiC 입자를 생성하고, 입자 수분 제거 역할을 하는 water trap과 diffusion dryer를 통과시켰다. 수분이 제거된 입자는 희석 챔버(dilution chamber)에서 그 농도가 희석된 후 입자제어 챔버(chamber)로 들어가고 그 농도가 측정되었다. 지속적으로 유입되는 입자들은 챔버내에서 일정한 농도를 유지하게 되고, 이 농도는 CPC와 APS로 모니터링되었다. 또한 드라이브에 샘플링 튜브를 연결하여 드라이브 내부의 공기도 샘플링하였다. 이때 CPC의 주어진 샘플링 유량은 0.3 L/min이고, 드라이브의 내부는 그 공간이 매우 좁으므로 샘플링 유량이 많을 경우 드라이브내 유동을 변화시킬 수 있기 때문에 밸브와 유량계를 이용한 유량 제어 시스템을 구성하여 0.1 L/min을 드라이브내에서 샘플링하고, 나머지 0.2 L/min은 HEPA 필터로 걸러진 깨끗한 공기가 직접 입자계수기에 유입되도록 하였다. 실험은 디스크가 작동할 때와 작동하지 않을 때를 구분하여 실시하였으며, 드라이브 종류별로 같은 실험을 반복하였다.

실험에 사용된 드라이브는 밀폐를 전혀 고려하지 않고 국내에서 제작된 상용 드라이브(Type A)와 밀폐를 고려하여 해외에서 제작된 드라이브(Type B)였으며, B type은 A type과 비교했을 때 드라이브 내부의 밀폐를 위하여 두 겹의 케이스로 만들어진 것이다. 각각 드라이브에는 샘플링 튜브를 설치하였다. 샘플링된 공기는 Fig. 2와 같이 CPC로 보내진다. 샘플링 튜브의 설치 위치는 드라이브 윗면의 중간부분으로 하였는데, 이는 드라이브 윗면 어느 곳이나 측정되는 입자의 유사한 결과를 가져왔기 때문에 결정되었다.

또한 드라이브의 밀폐와 더불어 드라이브내로 공기를 유입함(Fig. 2)으로써 드라이브 내부의 오염을 최소화하는 실험을 수행하였다. 공기 주입의 목적은 드라이브 내부에 팬이 장착될 경우 팬에 의한 공기 흡입을 모사하기 위한 것이다.

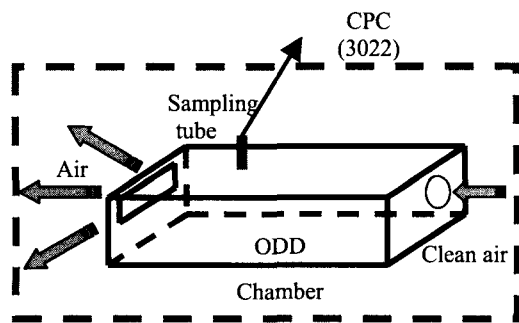


Fig. 2 Sealing of drive and air injection

드라이브의 크기, 팬의 크기 그리고 공기 흡입부에 설치될 필터를 고려하여 팬의 흡입유량을 최대 15L/min으로 간주하였으며, 실험에 사용된 공기주입량은 10L/min으로 선정하였다.

2.2 드라이브의 내부 온도 측정

드라이브 내부 온도에 관련된 실험에서는 국내 상용 드라이브인 Type A를 사용했다. 먼저 드라이브가 작동될 때 드라이브 내부의 공기 온도를 비드직경 0.31mm의 K형 열전대로 측정하였다. 온도는 드라이브 작동 순간부터 2시간 동안 측정하였다.

Fig. 3의 (A)~(F)는 온도측정 지점이다. 디스크의 중심 및 그 근처의 온도 차이를 살펴보기 위하여 디스크 위 약 5mm지점(A, B)에 열전대를 설치하였고, 나머지는 주 발열부라고 생각되는 드라이브 바닥면 PCB의 5mm 위(디스크의 밑으로 15mm 지점)에 설치하였다(C, D, E, F). 드라이브 외부 공기의 온도는 25~26 °C로 일정하였다.

또한 트레이 부분을 제외한 드라이브를 밀폐시키고 필터로 오염물질이 걸러진 깨끗한 공기를 Fig. 2와 같이 주입시킨 후 위와 같은 방법으로 온도를 측정하였다.

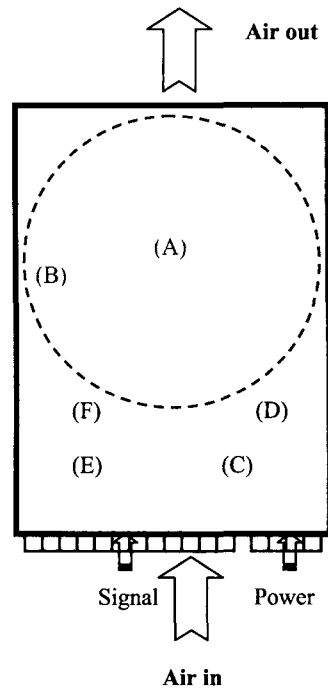
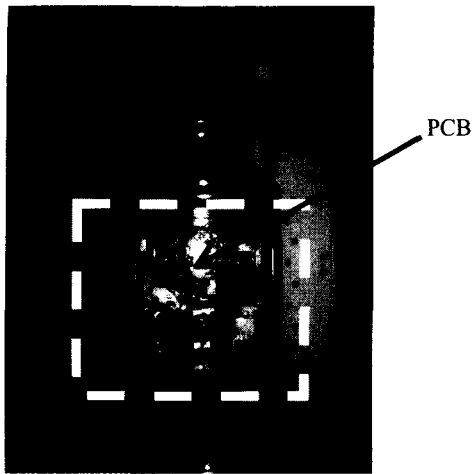
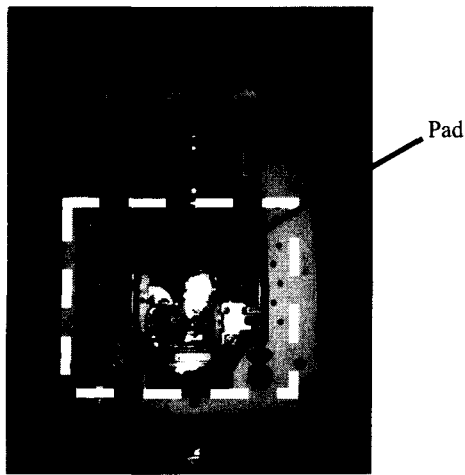


Fig. 3 Location of thermocouples



(a) Before installation of heatproof pad



(b) After installation of heatproof pad

Fig. 4 Heatproof pad installed in type A drive

드라이브 구동시 내부 온도를 증가시키는 주 열원인 PCB에서 발생하는 열을 막기 위하여 PCB 위쪽에 얇은 판을 설치하여 정보재생 부분으로의 열전달을 최소화시켰다. Fig. 4는 얇은 판을 설치하기 전과 후를 보여준다. 방열판으로 쓰인 얇은 판(pad)은 두께 1mm의 절연지를 PCB위 공간에 두어 PCB를 완전히 덮은 형태이다. 이와 같은 조건에서 앞에서 설명한 방법으로 온도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 예비 실험

입자 오염이 일으킬 수 있는 문제점을 파악하기

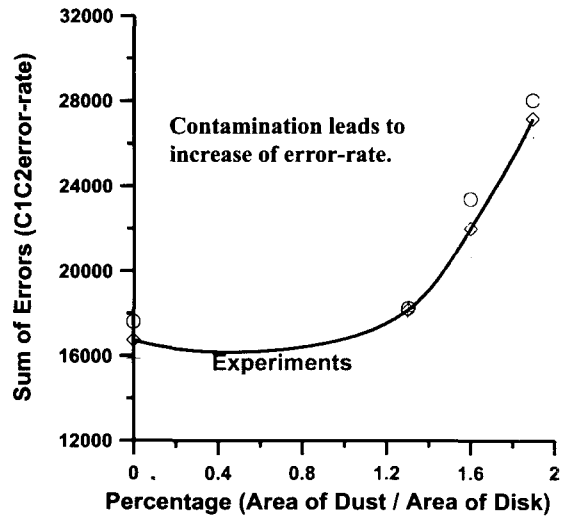


Fig. 5 Effect of disk contamination on error rate

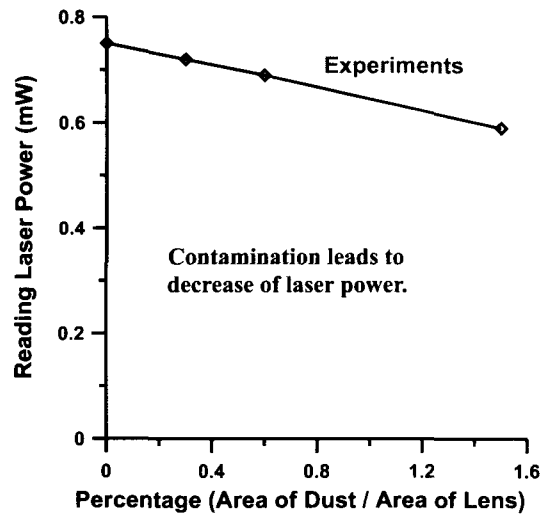


Fig. 6 Effect of lens contamination of laser power

위하여 실제로 광디스크 드라이브의 주요 부위인 렌즈 및 디스크에 입자가 부착되었을 때 레이저 파워의 감소와 C1-C2 에러(CD에서 데이터를 읽을 때 나타나는 에러로서 군집형 에러를 의미)가 증가되는 경향을 실험적으로 살펴 보았다. Fig. 5는 오염입자가 부착된 디스크를 사용해서 에러가 증가되는 경향을 3회 반복한 실험 결과이며, Fig. 6은 렌즈에 오염입자가 부착되었을 경우 레이저 파워가 감소되는 경향을 실험한 결과이다. 실험에서 오염입자가 부착된 수를 증가시키면서 렌즈 또는 디스크의 면적과 대비한 것이다. 부착된 오염입자가 많을수록 즉, 부착되는 면적이 넓을수록 광디스크 드라이브에서의 문제점으로 여겨질 수 있는 에러가 증가하고 레이저 파워가 감소되므로 이를

방지할 수 있는 기술이 절실히 요구된다.

3.2 입자유입

Fig. 7의 입자 측정결과는 CPC로 측정된 값의 평균값을 의미한다. 먼저 Type A의 외부입자 유입 실험결과 (1)을 보면, 디스크를 작동하지 않은 상태에서는 입자가 거의 검출되지 않았으나, 디스크의 회전이 시작됨과 동시에 외부환경의 약 80%의 입자가 유입된 것을 알 수 있었다. 또한 이와 동일한 조건에서 Type A의 앞면 트레이 부분을 제외하고는 실리콘을 이용, 완전히 밀폐시킨 후 같은 실험을 반복한 (2)의 경우, 입자의 유입면으로만 볼 때, 밀폐를 하지 않은 (1)의 경우에 비해 유입 양이 반으로 줄었음을 보여준다. 다음 실험은 Type B의 드라이브에서 실시되었다. Type B는 해외 제품으로 드라이브의 구조변경, 즉 내부에 상자를 두어 주요부위인 픽업과 디스크를 보호하고 주 발열원인 PCB와 격리시켜 문제점을 최소화한 드라이브이다. Fig. 7의 (3)에서 보는 바와 같이 국내 제품을 부분 밀폐한 경우에 비해 입자 유입율은 약간 줄었음을 알 수 있다.

국내 제품인 Type A의 경우, 앞선 실험결과에서 보듯이 드라이브의 밀폐만으로는 그 효과를 충분히 얻지 못하였다. 그래서 드라이브의 밀폐와 깨끗한 공기의 주입으로 이를 해결하고자 하여 Fig. 7의 (4)와 같은 결과를 얻었다.

Fig. 8은 Type A의 3가지 조건에 대하여 약 2시간 경과 후 드라이브 주위 환경에 대한 유입된 입자의 양을 백분율로 나타낸 것이다. 그림과 같이 상태별 유입량은 밀폐를 했을 경우와 밀폐와 공기 주입이 있을 경우 결과의 약 50%의 차이가 났다.

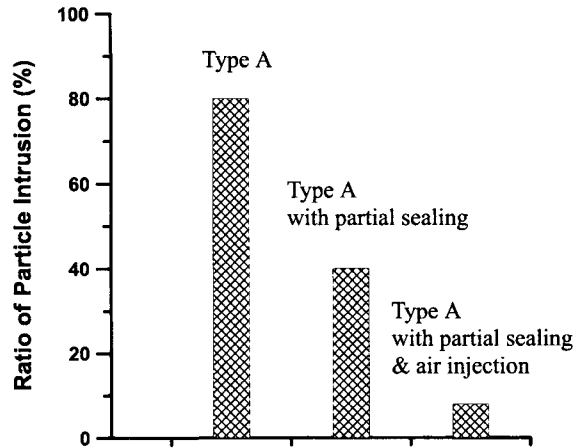


Fig. 8 Particle intrusion for different drive conditions (elapsed time : 2 hours)

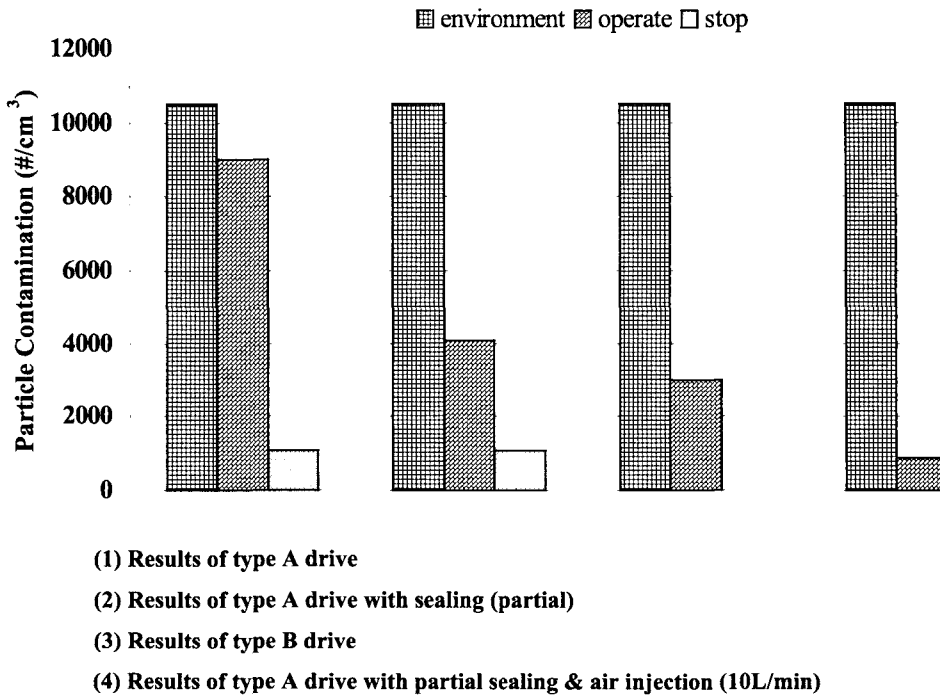


Fig. 7 Results of experiment for each condition

3.3 드라이브 내부 온도

국내에서 시판되고 있는 Type A 드라이브에 대하여 드라이브 내부 온도를 측정하였다. 드라이브 내부의 온도는 디스크의 회전과는 관계없이 전원이 공급되었을 때 각 위치별로 상당히 큰 온도차가 있었다. 즉, 전력이 공급되는 부위의 열전대에서는 디스크의 작동과는 관계없이 온도가 높았으며, 디스크의 위쪽과는 차이가 컸다. 이것으로부터 주된 발열부위가 드라이브 바닥면에 있는 PCB인 것을 알 수 있다. 디스크 회전속도의 증가는 더 많은 전력을 필요로 하게 되고, 이는 PCB에서의 칩에 더 많은 발열을 가져오게 된다.

각 위치에서 온도를 측정하였을 때, 드라이브 내부는 그 위치별로 온도 차이가 컸다. 드라이브의 온도는 정상상태에 도달한 온도를 기준으로 측정하였다. 디스크 위쪽의 경우(A, B), PCB의 영향을 덜 받고, 측정된 위치가 회전하는 디스크와도 조금 거리가 있었기 때문에 바닥쪽(PCB위 5mm 지점 : (C)-(F))보다 낮은 온도를 유지하였으나, 중심(A)보다는 디스크의 바깥(B) 부근에서의 온도가 조금 더 높았다. 드라이브 바닥쪽에서는 전력 입력부근이 다른 부분보다 높은 온도를 유지하였는데 이는 높은 열을 발하는 칩 주위에서 측정하였기 때문이다. 각 위치에서의 온도를 드라이브 상태를 바꾸면서 측정된 결과, 비록 그 차이는 미미하지만 드라이브의 밀폐는 내부온도의 상승을 초래하였으며, 밀폐 후 깨끗한 공기의 주입은 드라이브 내부의 온도를 떨어뜨리는 역할을 하였다.

- a→b : Sealing for prevention of contamination (+1 °C)
- a→c : Sealing + clean air injection (5 L/min) (-4 °C)
- a→d : Sealing + clean air injection (10 L/min) (-7 °C)
- a→e : Sealing + clean air injection (10 L/min) + heatproof pad (-11 °C main source : -15 °C)

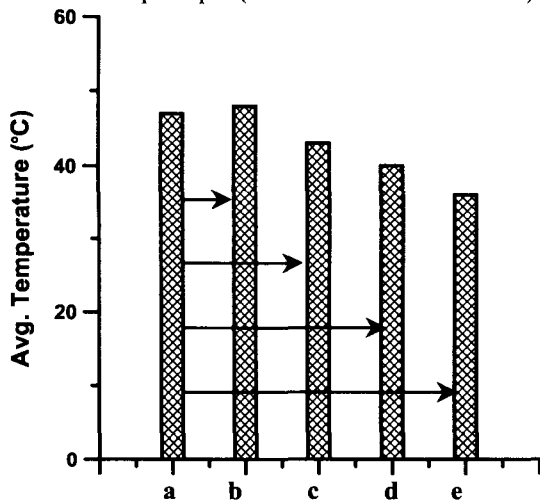


Fig. 9 Effect of heatproof pad on temperature

또한 10 L/min의 공기주입만으로 충분히 온도를 떨어뜨리기에는 한계가 있을 것으로 생각하여 Fig 4와 같이 방열판을 설치하여 PCB에서 나오는 열을 막아주어 실험한 결과 드라이브 내부의 온도가 공기만 주입할 때보다 더 많이 감소하였다. 방열판으로 인하여 방열판 위쪽의 온도뿐만 아니라 아래쪽의 온도 역시 대류효과의 영향을 받은 것으로 나타났다. Fig. 9는 드라이브의 각 상태별로 측정된 내부의 온도를 도식한 그래프이다. 여섯 지점에서 측정된 온도의 평균값을 나타내었는데 방열판과 공기주입의 효과는 전체적인 온도감소와 주 발열부라고 할 수 있는 PCB에서 나오는 열을 15도 이상 강하시키는 결과를 가져왔다. 이는 온도 상승의 방식을 추구하는 면에서 기존 드라이브의 단점을 해소하고 정보저장기기의 추세인 고속, 고밀도에 영향을 줄 수 있다. 외국 제품인 Type B의 경우 드라이브내에 상자 하나를 더 두어 내부 온도를 제어한 것과는 조금 차이가 있지만, 이러한 결과는 PCB에서 발생하는 열만 막아주어도 상당한 효과를 얻을 수 있다는 것을 말해준다.

4. 결론

광디스크 드라이브(ODD)의 저장밀도가 높아짐에 따라 빔 스폿 사이즈가 작아지고 렌즈와 디스크의 간격이 좁아짐에 따라 먼지 입자들에 의한 문제점이 대두되고 있다. 따라서 본 논문은 광디스크 드라이브 자체에 입자의 유입을 줄일 수 있는 방안을 모색하고, 이러한 방안의 적용 시 발생할 수 있는 문제점에 대한 해결방안을 제시하고자 하였다.

본 논문에서는 광디스크 드라이브의 신뢰성을 저하시킬 수 있는 먼지 입자들의 유입을 막을 수 있는 방안과 이로 인하여 발생할 수 있는 발열문제에 대한 실험적 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

ODD 내로 유입되는 오염입자 감소방안으로 드라이브 형태별로 내부로 유입되는 입자의 양을 샘플링하여 드라이브의 밀폐는 입자의 유입면에서 일반 드라이브보다 두 배의 효과를 얻었으며, 드라이브내로 깨끗한 공기의 강제주입은 다른 부분으로의 외부공기 유입을 막아 먼지의 유입을 현저하게 감소시켰다. 또한 밀폐된 드라이브 내 발열문제 해소방안으로는 공기 중의 오염입자 유입을 방지하기 위하여 드라이브의 밀폐를 시도하였을 경우 내부에서의 발열이 드라이브의 작동에 해를 미칠 수 있다. 이를 해결하기 위하여 드라이브내 주발열부에서 발하는 열을 차단할 수 있는 방열판을 붙이고 헨과 필터를 사용하는 경우, 유입입자의 감소 뿐만 아니라 내부 온도를 감소시키는 역할을 충분히 한다는 것을 실험으로 증명하였다.

후 기

본 연구는 삼성전자 DM총괄 OMS사업부와 한국 과학 재단 지정 정보 저장기기 연구센터(과제 번호 : 2001G0201)의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Kikawa, H., Kubo, T., Yoshida, H., Ueki, T. and Saruta, K., 1996, "Testing Method for Dust Effects on an Optical Disk Cartridge," *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 20, pp. 411~414.
- (2) Senga, H., Kubo, T., Ohta, T., Watanabe, K., Shihara, T. and Ishida, T., 2000, "Testing Method of the Dust Influence on Thin Substrate DVD and the Results," *Int. Symp. Optical Memory, Sep. 5-8, Chitose, Japan*.
- (3) Chong, T. C., 2000, "Contamination Issues in the Slider-based Near-Field Recording," *The 2nd Int. TBOC Workshop, Nov. 29-Dec.1, Seoul, Korea*.
- (4) Inokuchi, C., Akagi, T. and Nishiwaki, S., 1999, "Recording Laser Power Control Method Based on Wobble Signal Amplitude Detection," *Part of the Joint ISOM and ODS*, pp. 23~25, July, Koloa, Hawaii.
- (5) Reist, P. C., 1993, *Aerosol Science and Technology* (2nd ed.), McGraw-Hill.
- (6) Engler, E. M., 1992, *Optical Data Storage System with Reduced Particle Contamination*, US Patent Number 5,255,256.
- (7) Neyagawa, I. S., 1996, *Optical Disc and Contamination Detection System in an Apparatus for Recording and Reproducing the Same*, US Patent Number 5,513,160.
- (8) Takita, K., 1993, *Air Filtering Device*, US Patent Number 5,269,824.
- (9) Tsurushima, K., 1985, *Optical Disk Player*, US Patent Number 4,519,058.
- (10) Oh, S. Y., Park, H. S. and Hwang, J., 2001, "Particle Intrusion to Optical Disk Drives," *2nd Asian Aerosol Conf. July 1-4, Busan, Korea*, pp. 221~222.
- (11) Park, H. S., Oh, S. Y. and Hwang, J., 2000, "Fine Particle Contamination Trends in a Flying Optical Head/Slider," *Proc. of ISOM, Sep.22-23, Kyongju, Korea*, SB2-6.
- (12) Daily, J. W. and Nece, R. E., 1960, "Chamber Dimension Effects on Induced Flow and Frictional Resistance of Enclosed Rotating Disks," *J. of Basic Eng., March*, pp. 217~232.
- (13) Gor, D., Humphrey, J. A. C. and Greif, R., 1993, "Ventilated Flow in the Unobstructed Space between Corotating Disks in a Cylindrical Enclosure," *Trans. of the ASME*, Vol. 115, pp. 398~407.
- (14) Gronholz, 1985, "Defining Air Filter Performance Requirements for Sealed Disk Drives," *Technical Report*, Donaldson Company, Inc.