

CD-ROM 드라이브의 대물렌즈 입자오염이 Laser Diode의 Power와 Photo Diode의 RF Signal에 미치는 영향

배양일*·황정호†

Effect of Particle Contamination on Objective Lens in a CD-ROM Drive on Laser Diode Power and Photo Diode RF Signal

Yangil Pae, Jungho Hwang

Key Words: ODD(광 디스크 드라이브), Laser Power(레이저 파워), Objective Lens(대물렌즈), Dust Particle(먼지 입자), Contamination(오염), RF 신호(라디오파)

Abstract

A number of dust particles are intruded into ODD(Optical disk drive) due to the flow caused by disk rotation and are adhered to a lens or disk surface. The space between the disk and the lens is being reduced. Someone indicates the problems of this drive that are relatively small data storing capacity and slow access time. In recent, the problems of this optical disk drive mentioned above are being solved by adding the speed of the disk's revolution, making the actuator high-speed or light, and making the beam spot size smaller than making the space narrow between disk and lens. These particle contamination affects seriously RF Signal, readout signal in an ODD. Especially, the affected parts by a particle contamination in an ODD's readout signal are objective lens and media.

1. 서 론

광 디스크 드라이브(Optical Disk Drive)는 미디어의 착탈이 가능하여 외부로부터의 입자 오염에 항상 노출될 수밖에 없는 구조를 가지고 있다. 최근 이러한 광 디스크 드라이브(ODD)에서 디스크의 회전 속도 증가와 액츄에이터의 고속화

및 경량화, 기록 밀도 향상을 위한 빔 스폿 사이즈의 감소에 의한 렌즈와 디스크 사이의 간격 감소에 따라 주로 자기 디스크 드라이브(HDD) 분야에서 중요시되었던 드라이브 내부의 먼지 입자오염(Dust Particle Contamination) 문제가 광 디스크 드라이브(ODD) 분야에서도 이슈로 떠오르고 있다.⁽¹⁻⁹⁾ 현재의 ODD는 입자 오염 때문에 일반 사용자들이 ODD의 이용에 큰 문제가 될 정도는 아니다. 그렇지만 장기간에 걸친 다량의 먼지 입자 오염은 기록, 재생에 있어 여러 가지 문제점을 야기하며 에러⁽¹⁰⁾가 심각해지면 데이터의 기록 재생이 불가능해지는 경우가 발생한다.⁽⁵⁾ 그리고 스폿 사이즈가 감소함에 따라 많은 입자상 부유 물질이 디스크 표면이나 렌즈에 부착되는 경우에는 광 산란, 회절이 발생하므로 지터(Jitter)⁽¹¹⁻¹²⁾

* 연세대학교 대학원 기계공학과

† 책임저자, 회원, 연세대학교 기계공학과

E-mail : success@yonsei.ac.kr

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

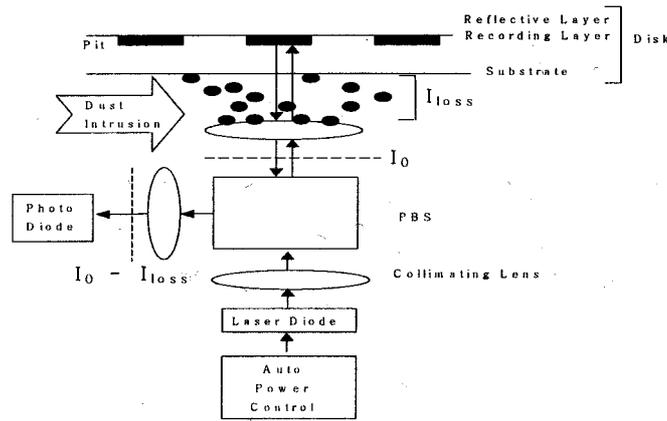


Fig 1. Optical Pick-Up

등의 잡음(Noise)에 의한 데이터의 기록, 재생의 오류가 발생할 가능성이 높아진다.⁽¹³⁾ 일반적으로 지터는 위상잡음(Phase noise)이라고 하며 랜덤(Random)하게 발생한다. 특히 읽기전용(Read-only) ODD의 디지털 정보를 가지고 있는 기록마크인 피트(Pit)를 재생할 때, 재생신호의 변환점이 원신호의 변환점과 시간축 위에서 일치하지 않는 현상인 변환점지터(Transition jitter)가 발생한다. ODD의 하나인 CD-ROM 드라이브는 광픽업내의 반도체 레이저 다이오드(LD)에서 780nm의 레이저 빔을 발진시킨다. 그 후 콜리메이트렌즈(Collimating Lens)와 PBS(Polarizing Beam Splitter)를 통과시킨 다음 대물렌즈(Objective Lens)를 통해 빔을 집광시켜 미디어의 기록면으로 보낸다. 기록면에 입사된 빔은 반사를 하게 되는데 그 반사량은 Pit의 유무에 따라 달라진다. 이 반사된 빔은 다시 대물렌즈를 통과한 후 PBS를 거쳐 포토다이오드(PD)로 가게 되며 PD에서 RF 신호로 변환된다. Fig. 1은 광 픽업의 광학 시스템을 나타내고 있다. PD에서 변환된 RF 신호는 Pit에 기록된 정보를 재생하는 것 말고도 Tracking 에러, Focus 에러를 보정하는 데에도 쓰이고 있다. 재생을 방해하는 요소가 발생할 때 RF 신호의 아이패턴(Eye pattern)이 찌그러지고 지터가 심하게 발생 되었다는 연구 결과가 있다.⁽¹⁴⁾ 아이패턴은 오실로스코프를 통해 중첩된 RF신호를 육안으로 관찰할 때 보이는 4개의 교차점들로 이루어진 다이아몬드 형태이다. 신호들 사이의 간섭이 심해지면 파형 일그러짐이 발생하여 아이패턴이 명확하게 보이지 않게 된다.⁽¹¹⁾ 광 기록/재생 기술이 발달함에 따라 입자상 오염물질의 영향이 계속 증가될 것이므로 기록/재생의 안정성 향상을 위한 연구의 필요성이 증가하

고 있다. 현재에도 ODD내의 입자오염 문제를 해결하기 위한 연구가 특허를 비롯하여 많이 진행되고 있다. 지금까지 진행된 ODD내의 입자오염 문제를 해결하기 위한 연구 중 특허는 Engler,⁽¹⁵⁾ Neyagawa,⁽¹⁶⁾ Takita,⁽¹⁷⁾ Tsurushima⁽¹⁸⁾ 등이 출원한 바가 있다. Engler는 CD-ROM 드라이브의 Housing으로 유입되는 외부공기의 유로를 기구 형태의 변형을 통해 제어하고 Optical Element들을 오염으로부터 보호할 수 있는 Housing의 내부 구조를 설계하였다. Neyagawa는 미디어가 오염된 상황에서도 ODD가 기록된 데이터를 왜곡 없이 재생할 수 있는 미디어와 오염감지시스템을 개발하였다. Takita는 기존 ODD내의 Air Filtering 방식과는 다른 Device를 개발하였다. Tsurushima는 미디어의 변형 또는 오염을 인식할 수 있는 에러 정정 코드를 가진 ODD를 개발하였다. 오서영 등은 실제로 CD-RW 드라이브의 대물렌즈와 미디어에 입자가 부착되었을 때 그 부착 면적비의 변화에 따른 레이저 파워의 변화와 C1-C2 에러의 변화에 대해 연구한 바가 있다.⁽²⁾ 대물렌즈 입자 부착 면적에 따른 레이저 파워 변화 실험은 면적비가 0 - 1.6%인 범위에서 이루어졌으며 렌즈 오염 증가에 따라 선형적으로 감소하는 경향을 보였다. C1-C2 에러는 미디어에서 데이터를 읽을 때 나타나는 에러로서 군집형 에러이며 실험은 미디어의 입자 오염도가 0 - 2%에서 이루어졌으며 미디어 오염도 증가에 따라 지수증가적인 경향을 보였다. 오서영⁽¹⁾ 등은 ODD의 입자 유입 현상은 ODD가 HDD(하드디스크 드라이브)와는 달리 주변 공기와 완전히 밀폐되어 있지 않는 구조이기 때문에 생기는 것이며 ODD의 스피들 모터의 회전 속도가 증가하면 드라이브 주위와 드라이브 내부의 압력차이가 증가하여 입자 등의 오염 물

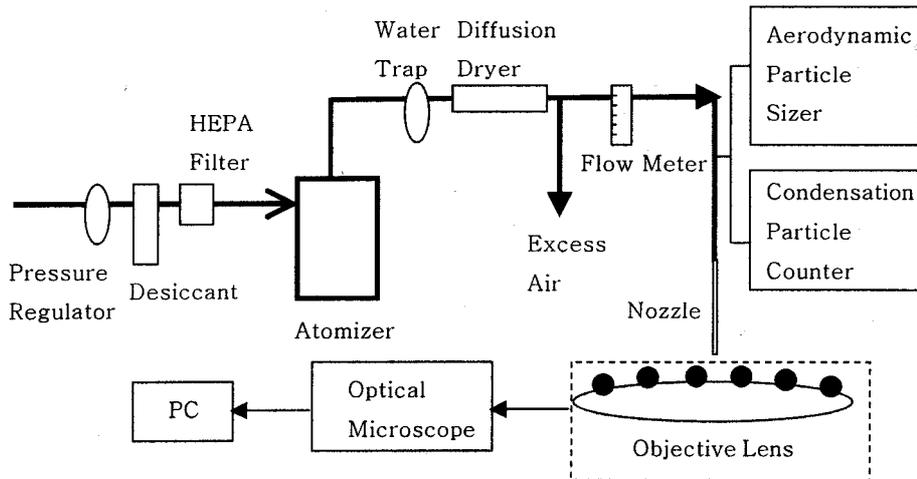


Fig 2. Experimental set-up for lens contamination

질이 유입될 가능성이 높아져 입자 오염이 더욱 심각해 질 수 있다는 것을 실험적, 이론적으로 증명했다. 박희성⁽³⁾ 등은 Flying Optical Head/Slider에서의 미세 입자 오염은 HDD의 슬라이더가 부상하는 하는 원리를 이용하여 대물렌즈와 미디어의 표면과의 거리를 아주 짧게 만들어 주기 위해 광학 헤드 슬라이더에 적용한 것으로 이는 HDD의 입자 오염에 의한 문제점과 ODD의 입자 오염의 문제점을 가지고 있어 입자 오염 문제가 심각하다고 하였다. Watanabe, T.^(4 - 5)는 미디어의 기관이 얇아짐에 따라 먼지에 의한 에러 발생이 증가하는 경향에 대해 연구 하였다. Kubo, T., Watanabe, T.^(6 - 7) 등은 미디어의 입자 오염이 ODD의 재생 신호에 미치는 영향을 실험적으로 밝히기 위해 스피커의 진동을 이용하여 스피커에 용기를 고정시킨 후 거기에 분진을 담아 입자를 발생시켰다. 본 연구에서는 CD-ROM 드라이브의 대물렌즈 오염 정도를 0 - 100%로 변화시켜 대물렌즈의 입자에 오염에 따른 광 파워 변화를 측정하였고, 대물렌즈와 미디어의 입자 오염에 따른 재생 신호의 왜곡 현상을 살펴보기 위해 RF Signal을 측정/분석하였다. 다음은 먼저 실험 장치, 방법 등을 설명하였고 실험 결과를 기대치 (Expectation value)와 비교하였다.

2. 실험

본 연구에서는 대물렌즈의 입자오염이 광 파워 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 Fig.2와 같이 실험 장치를 구성하였다. 모사 입자로는 Al₂O₃를 사용하였다. HEPA 필터 등의 청정 공기

공급부(Clean Air Supply)를 지나서 압축 공기가 Collision형 분무형 입자발생기(Atomizer)에 공급되어 액적을 생성시킨다. 생성된 액적들은 Water trap과 확산 건조기(Diffusion dryer)를 거쳐 고체 알루미나(Al₂O₃)입자로 노즐에서 분출된다.⁽¹⁹⁾ 이때의 유량은 5 lpm 이었다. 발생시킨 입자의 평균 직경은 1 μ m 정도였으며, 수농도는 103 (#/cm³)이고 기하표준편차는 1.4 였다. 수농도 측정은 Condensation Particle Counter(CPC, TSI 3022), 입자의 평균 입경은 Aerodynamic Particle Sizer(APS, TSI 3321)로 측정하였다. 이때 노즐은 약 1mm 직경의 SUS 튜브를 사용했다. 노즐에서 분출된 입자들은 노즐로부터 2mm 거리에 위치한 대물렌즈에 충돌, 부착되었다. 대물렌즈의 오염도의 제어는 에어로졸에 의한 노출 시간(최소 60sec, 최대 1800sec)으로 하였으며 오염도를 광학 현미경(OLYMPUS, BX60M)으로 판독하였다.

오염 시킨 광픽업을 APC에 연결하여 빔을 발진시키고 레이저 파워 미터(MELLES GRIOT, 18 LAB 250)를 사용하여 광 픽업의 레이저 파워를 측정하였다. 파워 측정 실험에서 사용한 레이저 파워 미터의 유효 파장의 영역대가 넓어 외부광의 영향을 차단하기 위해 실험 공간으로 빛이 들어오는 것을 차단하였다. 또한 본 연구에서는 대물렌즈의 입자 오염이 RF 신호에 미치는 영향을 실험했으며 입자 오염에 의해 영향을 받는 CD-ROM 드라이브의 재생신호를 측정하는 방법은 아래와 같다. 드라이브를 분해하여 광픽업의 대물렌즈를 오염시킨 후 다시 조립한다. 신호를 측정하기 위해 내부 기관의 RFAC단자와 Ground 단자를 BNC 커넥터에 연결한다. 그 후 커넥터를 BNC 케이블

을 통해 디지털 오실로스코프(Lecroy, LT342L)와 Time Interval Analyzer(Yokogawa, TA320)에 각각 연결하고 CD-ROM 드라이브를 구동시켜 재생신호를 측정/분석한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대물렌즈의 입자 오염에 의한 Laser Power 변동 실험

Fig. 3으로부터 대물렌즈의 입자오염정도가 커짐에 따라 레이저 파워가 감소하고 있음을 알 수 있다. 이 때 대물렌즈의 입자오염정도는 대물렌즈의 투영면적에 대한 현미경으로 판독되는 대물렌즈의 오염면적의 비로 환산했다. 실험 결과 대물 렌즈가 Al_2O_3 입자로 100% 덮여 있는 경우에는 광의 파워가 0임을 알 수 있었다. 또, Fig. 5는 가정에 의해 계산된 기대치(Expectation value)들을 보여준다. 가정에 의해 구한 식은 입자가 여러 겹으로 쌓이지 않고 오염면적비가 100%가 될 때까지 증가한다고 가정하였으며 대물렌즈에 의한 레이저 파워의 손실은 무시하였다. 이러한 가정을 통해 구한 식은 $I / I_0 = 1 - x$ 이다. 이 식을 근거로 각 경우의 기대치를 산출하여 Fig. 3에 나타내었다. I / I_0 는 상대 레이저 파워(Relative Laser Power)이다. I_0 는 ODD내의 대물렌즈가 입자에 의해 오염을 받지 않았을 때의 레이저 파워이고, I 는 ODD내의 대물렌즈가 입자에 의해 오염이 되었을 때의 레이저 파워이다. I 는 x 에 좌우되는 함수이다. x 는 대물렌즈의 면적에 대한 대물렌즈위의 오염 입자가 차지하는 면적의 비이다. 구해진 기대치와 실험값의 입자오염도를 비교해 본 결과 대물렌즈의 입자오염도가 낮은 경우에 입자오염도에 비해 낮은 경우

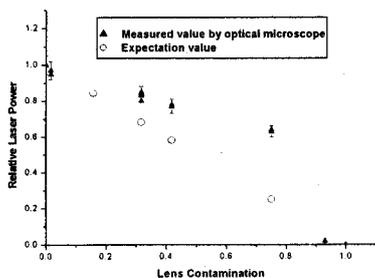


Fig 3. Lens Contamination vs Relative Laser Power

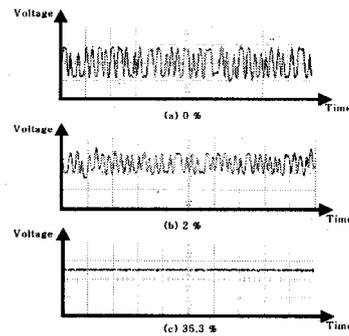


Fig 4. RFAC Signal

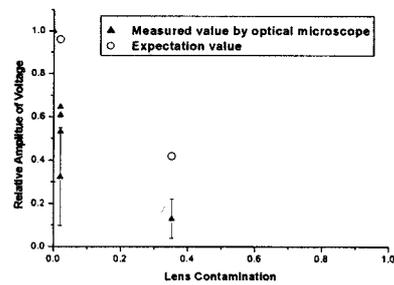


Fig 5. Lens Contamination vs Relative Amplitude of voltage

보다 오염도의 일치도가 높은 것으로 나타났다. 이는 대물렌즈의 오염도가 낮은 경우 입자에 의해 빛이 차단되는 비율이 대물렌즈의 오염도가 높은 경우보다 낮기 때문이라고 볼 수 있다. 대물렌즈의 오염도를 높이면서 입자가 쌓이는 경향 때문이라고 할 수 있다. 본 실험을 통해 구한 평균 부착 효율은 대략 5% 정도였다.

3.2 Objective Lens의 입자 오염이 CD-ROM의 재생 신호의 각종 파라미터에 미치는 영향

Fig. 4는 대물렌즈의 입자 오염에 의한 RF Signal의 변동을 측정한 결과를 보여주고 있다. 이 그림은 입자의 오염에 의해 레이저 파워가 감소했다는 사실을 RF신호의 진폭의 변화의 관찰에 의해 비교적 손쉽게 알 수 있게 해 준다. Fig. 4에는 세 가지 경우의 RF 신호가 나타내 있다. Fig. 4를 보면 위쪽의 (a) 신호에서 아래쪽의 (b) 신호로 내려올수록 신호의 진폭이 감소되었음을 알 수 있다. 이는 대물렌즈의 입자 오염에 의해 ODD의 레이저 파워가 감소되었음을 말해 준

다. Fig. 5는 대물렌즈의 입자 오염도가 증가함에 따라 RF 신호의 상대 Voltage의 Amplitude가

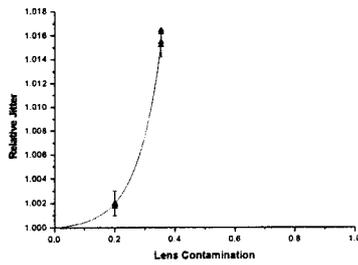


Fig 6. Lens Contamination vs Relative

Jitter
감소하는 경향을 그래프를 통해서 나타낸 것이다. 이 실험은 대물렌즈를 입자로 오염시킨 후 그 오염 정도를 측정하고 5회 반복하여 RF 신호의 상대 진폭을 측정하였다. Fig. 5에 나타나 있는 신호의 상대 진폭에 관한 기대치는 Fig. 3의 레이저 파워 측정 실험의 가정을 적용했다. Fig. 5에서 RF 신호의 상대 진폭이 대물렌즈의 입자 오염도가 증가함에 따라 줄어든다는 사실을 다시 한번 확인할 수 있었으며 여기서 관찰된 특이한 점은 대물렌즈의 입자 오염도가 낮을 때에는 부착된 입자가 대물렌즈로부터 떨어져 나간다는 것이었다. 그 근거는 대물렌즈의 입자 오염도가 낮을 때는 실험을 반복하면 할수록 RF 신호의 상대 진폭이 증가하고 있는 현상을 관찰할 수 있으나 대물렌즈의 입자 오염도가 높을 경우에는 RF 신호의 상대 진폭의 변동이 거의 없다는 것이다.

Fig. 6은 ODD의 대물렌즈 오염에 의한 상대적인 지터의 변동을 나타내고 있으며 이의 원인은 일종의 파면 수차(Wavefront Error)에 의한 것으로 보인다. 왜곡이 없는 레이저 빔은 가우시안 함수의 형태를 보인다. 이러한 형태의 레이저 빔이 대물렌즈에 붙어 있는 오염 입자에 의해 산란, 회절 됨에 의해 파면이 불규칙적으로 된다. 이러한 현상의 정도는 RF 신호의 지터의 변동을 보고 판단할 수 있다.

4. 결론

과거에도 ODD에 쓰이는 미디어의 입자 오염이 RF 신호에 미치는 영향에 대한 연구는 실험적, 수치적으로 계속되어 왔으나 ODD의 대물렌즈의 오염이 재생 신호에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 전무했다. 본 연구에서는 에어로졸 공학 분야에서 자주 이용하는 입자의 관성 충돌 현상을 이용하여 ODD의 대물렌즈의 표면을 오염시켰으며

대물렌즈의 오염 정도를 제어하였다. ODD의 대물렌즈에 인위적으로 입자 오염을 시켜 레이저의 파워를 측정한 결과 대물렌즈의 입자의 오염 정도가 낮은 영역에서는 비교적 완만한 경사로 레이저의 파워가 떨어지는 것을 관찰할 수 있었으며, 대물 렌즈의 입자 오염 정도가 심해질수록 급속히 레이저의 파워가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 노즐을 통해 대물렌즈를 오염시킬 때 대물렌즈의 노출 시간이 얼마 되지 않았을 때는 느린 속도로 오염되기 시작하지만 어느 정도 대물 렌즈가 오염이 되기 시작 하면 대물 렌즈 위의 입자들의 간격이 급속히 좁아지고 입자가 여러 층으로 쌓이는 현상이 생기기 때문이라고 해석할 수 있다. ODD의 대물렌즈의 오염이 ODD의 실제 재생 신호인 RF 신호에 미치는 영향을 분석한 결과에서도 역시 RF 신호의 Amplitude Voltage와 지터에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. RF 신호의 진폭은 ODD의 대물렌즈의 입자 오염이 증가함에 따라 줄어드는 경향을 보였으며 RF 신호의 지터는 증가함을 보였다. ODD의 대물렌즈의 입자 오염에 의한 레이저 파워의 실험 결과들을 종합해 보면 ODD의 대물렌즈 위의 오염 입자에 의한 레이저 파워의 흡수, 차단 효과가 빔의 산란, 회절 효과보다 지배적이라고 해석할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국 과학 재단 지정 정보 저장기기 연구센터(과제번호 : 2001G0201)의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1)Oh,S.Y.,Park,H.S.and Hwang,J., 2001,"Particle Intrusion to Optical Disk Drives,"Drives Drives," 2nd Asian Aerosol Conf., Busan , Korea, pp.221-222
- (2)Oh,S.Y.and Hwang,J.,2003,"Control of Particle Contamination and Heat Build-Up for Noble Design of an Optical Disk Drive," Trans. of KSME B, Vol.27, Issue.1, pp.25 -

- (3) Park, H.S., Oh, S.Y. and Hwang, J., 2000, "Fine Particle Contamination Trends in a Flying Optical Head/Slider," Proc. Int. Symp. Optical Memory, SB 2-6
- (4) Seo, K., Kawashima, T., Yamagami, T. and Watanabe, T., 1992, "Error Propagation due to Dust on a Thin-Substrate Disk," JJAP. Vol.31, pp.659-661
- (5) Watanabe, T., Saito, K. and Seo, K., 2002, "Study of Error Propagation due to Dust for Thin-Cover Coat Disk Systems," Joint Int. Symp. Optical Memory and Optical Data Storage, TuA.2
- (6) 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, pp.146 - 147
- (7) Kitawa, H., Kubo, T., Yoshida, H., Ueki, T. and Saruta, K., 1996, "Testing Method for Dust Effects on an Optical Disk Cartridge," Proc. of Magneto-Optical Recording Int. Symp, Vol.20, Supplement No. SI, pp. 411 - 414
- (8) Honguh, Y., 1995, "Analysis of Optical Disk Readout Signal Deterioration Caused by Dust on the Substrate," Optical Review, Vol.2, No.1, pp. 14 - 19
- (9) Chong, T.C., 2000, "Contamination Issues in the Slider-based Near-Field Recording." 2nd Int. TBOC Workshop, Seoul, Korea
- (10) Turner, I., 1988, "Error Management in Optical Disk Recording," Comcon Spring '88, Thirty-Third IEEE Computer Society International Conference, pp. 132 - 134
- (11) Bergmans, Jan W.M., 1996, Digital Baseband Transmission and Recording, Kluwer Academic Publishers
- (12) Golio, M., 2001, The RF and Microwave Handbook, CRC Press
- (13) 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
- (14) Choi, J., 2001, "Generation, Recording and Evaluation of Recording Signal for High Density Optical Disk," MS Thesis, Yonsei University
- (15) Engler, E.M., 1992, "Optical Data Storage System with Reduced Particle Contamination," US Patent Number 5,255,256
- (16) 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
- (17) Takita, K., 1993, "Air Filtering Device," US Patent Number 5,269,824
- (18) Tsurushima, K., 1985, "Optical Disc Player," US Patent Number 4,519,058
- (19) Sethi, Virendra and John, Walter., 1993, "Particle Impaction Patterns from a Circular Jet," Aerosol Science and Technology, 18:1 - 10