

광디스크의 노화에 관한 주사 탐침 현미경 연구

윤만영,[†] 신현창

[†]중부대학교 정보통신학과, (주)피엔아이 연구개발팀
(2011년 9월 30일 접수, 2011년 10월 28일 최종 수정본 접수, 2011년 11월 18일 게재 확정)

Scanning Probe Microscopy Study on the Degradation of Optical Recoding Disks by Environmental Factors

Man-Young Yoon,[†] Hyun-Chang Shin

[†]Dept. of Information and Communication, Joongbu University,
PNI Ltd., R&D Team

(Accepted on September 30, 2011, Requisitioned last revision on October 29, 2011,
Publication decision on November 18, 2011)

Abstract

The storing ability of information of optical disks directly depends on the physical property of recording unit cells. It means that the degradation of optical disks ultimately causes the loss of the physical and chemical properties of recording unit cells and leads also information, too. We investigated the degradation and life time of optical disks which tell us the longevity of the preservation of information.

Optical disks were aged using the accelerated aging system and studied by optical reflectivity spectroscopy and atomic force microscopy(AFM), and the preservation environment of electronic media in National central library of Korea also were analysed.

Results show that the double reflective coated optical disks have good preservation of recording information but revealed some deformation of dye area in the AFM images. It means that we should include the mechanical and chemical degradation of the optical disks in the life time expectation evaluation.

Key-word: optical disks, scanning probe microscopy, environmental factors, optical reflectivity spectroscopy, atomic force microscopy.

1. 서 론

정보는 개인, 국가, 인류의 문화적 유산으로 간주되고 있으며, 잘 보존된 정보는 인류 모두에게 효율적으로 이용됨으로써 또 다른 응용 산물로서의 역할을 담당하고 있다. 정보를 저장하는 매체로는 종이 문서부터 필름 매체, 전자 매체, 행정 박물 등 다양한 종류의 매체에 생성되고 보존되어 지고 있다. 특히 1980년대 중반 이후 정보의 보존 형태는 종이 기록물에서 디지털 포맷으로 변화함에 따라, CD나 DVD와 같은 광기록 매체의 생산이 증가하고 있다. 그러나 광기록 매체는 내구성이 약하여 오류 발생 및 내구성 퇴화 등의 원인으로 자료의 멸실 우려가 매우 크다. 따라서 자료의 멸실 방지를 위하여 광기록 매체의 내구성 평가 및 기대 수명을 예측하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다.

미국 의회 도서관은 소장하고 있는 광기록 매체에 대한 장기 보존성을 연구하기 시작하였다.¹⁾ 이후 미국 국가 표준국(NIST) 및 광디스크 생산업체들과 협동 연구를 통하여 광기록 매체에 대한 기대 수명을 평가할 수 있는 표준을 정하였다.²⁾

또한 이를 토대로 정보를 장기간 보존할 수 있는 보존용 CD, DVD를 생산 보급하기 시작하였다. 일본은 최근 국가 차원에서 광기록 매체에 대한 연구를 수행하고 있으며, 주로 ISO 실험 환경에 따라 기대 수명을 평가하고 있다.^{3,4)} 최근에는 주로 광디스크를 만드는 기업과 정부 기록 보존소가 협력하여 기록 보존용 광기록 매체의 개발과 표준화에 대하여 노력하고 있다. 미국이나 일본 외에도 해외 여러 나라에서 정보를 보존하기 위해 광기록 매체의 기대수명에 대한 연구가 진행되고 있다.^{5~7)}

현재 CD-R이나 DVD-R의 기대 수명을 평가하는 방법인 ISO는 특정한 온도 및 습도 하에서 인공 열화에 의한 PI 에러율의 수를 측정하는 방법으로 진행하고 있다.⁸⁾ 그러나 CD-R이나 DVD-R과 같은 광기록 매체의 경우 온도와 습도 이외에 빛, 미생물 등과 같은 요인들에 의해 정보가 훼손되는 경우가 발생한다. 특히 광조사에 의해 기록되고 재생되어지는 광기록 매체의 특성상 광조사에 의한 광기록 매체 염료의 변형에 대한 연구가 보완되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 최근 저장 매체로서 많이 고려되고 있는 DVD-R에 대한 장기 보존 매체로서의 가능성에 대해 광조사에 의한 노화 및 인공 열화에 의한 노화, 자연 노화된 샘플을 원자간력 현미경(Atomic Force Microscopy(AFM))과 표면 전계 측정(Kelvin Probe Microscopy(KPM)) 등 나노 측정 방법을 적용하여 분석함으로써 기대 수명 평가를 행하였다.

2. 실험

실험에 사용된 DVD-R(다이요우텐, 8배속 4.7GB DVD-R)은 phthalocyanine를 염료층으로 사용하는 골드 DVD-R과 super cyanine dye Rx를 염료층으로 사용하는 실버 DVD-R을 사용하였다. 광조사 장치는 자체 제작한 장치로 램프는 거리에 따른 광원의 조절이 가능하게 설계되었다. 광조사는 metal halide 150W 램프를 사용하였고, 램프의 조도(intensity)는 약 $47\text{mW}/\text{cm}^2$, 파장은 자연광에 비슷한 500nm 영역대를 사용하였다. 광조사는 600h 진행하였으며, 100~150h 간격으로 DVD-R에 나타나는 PI 에러 값을 optical disc analyser(CDT512, DVDT-+R/RW SD4)를 이용하여 측정하였다.

가속 열화 실험은 국제 표준(ISO) 열화 실험용 광기록 매체 샘플 holder에 super cyanine dye Rx를 염료층으로 사용하는 실버 DVD-R을 2mm 간격으로 장착하여 행하였다. 열화조건은 85°C , 70%의 조건에서 1,000 h 동안 가속열화 시켰으며, 250h 마다 PI 에러 값을 optical disc analyser로 측정하였다. 이때 온도 및 습도의 변화는 약 2% 내에서 유지되도록 하였으며, 사용된 증류수는 오염도를 최대한 줄이기 위해 3차 증류수를 사용하였다.

광조사 및 가속 열화된 DVD-R의 PI 에러 값 측정은 Figure 1과 같은 절차로 진행되었으며, 퇴화원인 규명을 위해 원자간력 현미경(AFM, Veeco Inc.)과 표면 전계 측정(Surface Kelvin Probe Microscopy(SKPM), Veeco Inc.)을 통하여 광기록 매체의 미세 구조 변화를 관찰하였다.

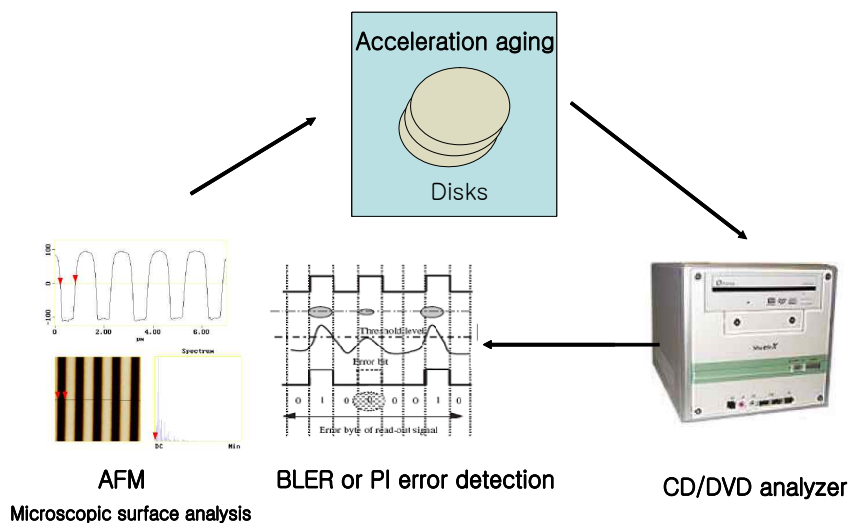


Figure 1. Experimental procedure.

3. 결과 및 고찰

열화되지 않은 DVD-R의 단면을 원자간력 현미경의 이미지를 Figure 2에 나타내었다. DVD-R의 기록층에는 랜드 (LAND)와 피트 (PITT)로 구성되어 있음을 보여준다.

일반적으로 DVD-R의 기본구조는 기관, 기록층, 반사층, 보호층으로 구성되어 있다. 정보는 염료로 구성되어 있는 기록층을 레이저로 염료를 태워 그 반사율을 가지고 정보 저장의 단위를 형성한다. 따라서 정보 보존능력을 상실 한다는 것은 정보저장 기본단위의 물리 화학적 상실을 의미 한다고 할 수 있다.

높은 온도와 습도는 열화 반응 속도를 가속화시켜 광디스크의 보호층을 형성하고 있는 고분자를 가수분해하고, 반사층의 금속을 산화시켜 반사율을 떨어트림으로서 광디스크의 열화에 영향을 준다. 반면 DVD-R에 가해지는 빛은 기록층의 염료에 영향을 주어 정보의 상실을 가져온다. 따라서 인공 열화(온도 및 습도), 광조사에 의한 열화, 그리고 자연 열화에 의한 DVD-R의 표면 미세 구조 관측은 DVD-R의 기대 수명을 예측할 수 있는 중요한 역할을 한다.

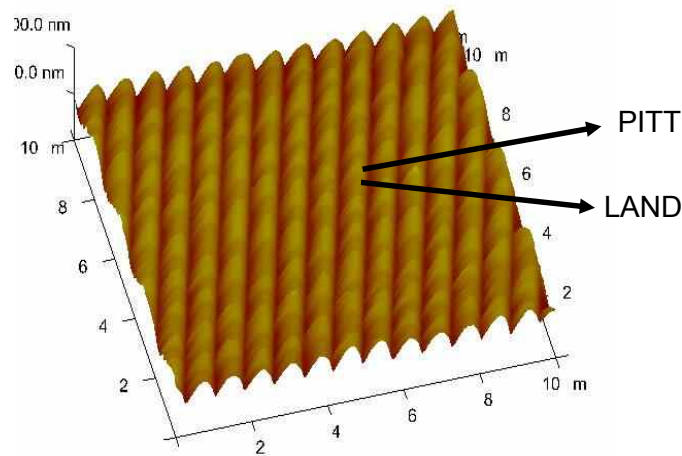


Figure 2. AFM image of DVD-R recording cells.

광조사시 시간에 따른 PI 에러 수는 Figure 3에 나타내었다. 초기 두 DVD-R의 에러 수는 50이하로 유사한 값을 보여주고 있다. 이 에러 수는 약 450시간까지 100이하로 비슷하게 나타나고 있으나, 450시간 이후부터는 phthalocyanine 염료층이 민감하게 반응하

여 에러 값이 급격하게 증가하고 있는 것을 볼 수 있었다. 기록 보존용으로 만들어진 이중 반사층의 DVD-R gold와 특수 디자인된 트랙을 가지는 silver를 단순히 비교하는 것은 어렵지만, 450시간 이후에 두 DVD-R에서 에러 값이 급격히 차이가 나타나는 것으로 보아 super cyanine dye Rx 계의 염료가 phthalocyanine 염료 보다 빛에 대해 상당한 저항성을 가짐을 알 수 있다.

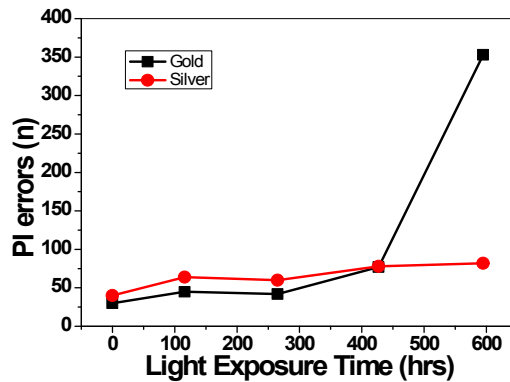


Figure 3. PI Errors change as a function of light exposure time.

Figure 4는 85℃, 70%의 조건하에서 DVD-R의 열화 시간에 따른 PI 에러 값의 증가를 보여준다. 초기 에러 값은 50이하로 나타나고 있으나, 열화 시간이 증가할수록 에러 값이 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 가속 열화 실험에서 나타난 에러 값의 증가 형태는 광조사 때와 유사하게 나타나고 있으나, 1000h 후에도 에러 값이 80이하로 나타나 광조사 때보다 에러 값이 느리게 증가하고 있는 것을 볼 수 있다.

Figure 5는 온도 85℃, 상대 습도 70%의 조건에서 약 500시간동안 인공 열화에 의해 열화된 샘플과 온도 25℃, 상대 습도 52%에서 600시간 동안 광조사에 의한 열화된 샘플의 원자간력 현미경 및 표면 전계 측정 결과를 나타낸다. 원자간력 현미경에서는 Figure 5(a)와 (c) 모두 랜드와 피트를 보여주고 있다. 그러나 원자간력 현미경만으로는 열화에 의한 에러 발생을 알 수 없기 때문에 표면 전계 측정을 수행하였다. Figure 5(b)와 (d)에서 볼 수 있듯이 인공 열화에 의해 열화된 염료들은 옆의 트랙으로 흐르고 표면 또한 레이저 빛이 반사하기에 적합하지 않음을 볼 수 있다. 빛에 의해 열화된 샘플은 표면 전계 측정에서는 전혀 영향을 받지 않은 것으로 나타난다. 그러나 두 샘플의 PI 에러율이 거의 같다는 것은 가속 열화에 의한 PI 에러의 원인은 기록 단위의 물리적인 변화에 의한 것이라 할 수 있고, 빛에 의한 PI 에러의 원인은 빛에 의해 염료가 화학적 변화에 의한 것이라고 말할 수 있다. 따라서 특정한 온도와 습도에서 인공 열화에 의한 PI 에러의

수를 측정하는 방법인 ISO의 기대수명 평가 방법은 Fig. 5의 결과에서 본 바와 같이 표면의 형태가 염료의 변형에 의한 것이기 때문에 염료의 화학적 변화에 의해 기대 수명을 평가할 수 있는 부분에 대 보완이 요구 된다.

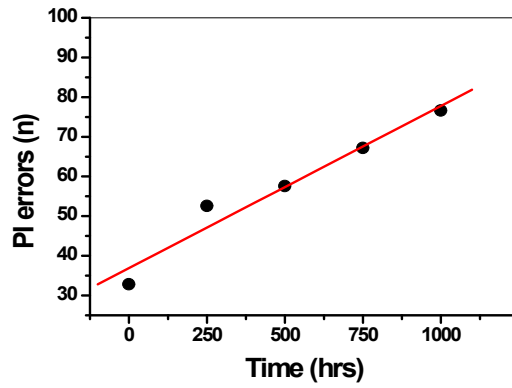


Figure 4. PI Errors change as a function of the accelerated aging time at 85°C and 70%RH.

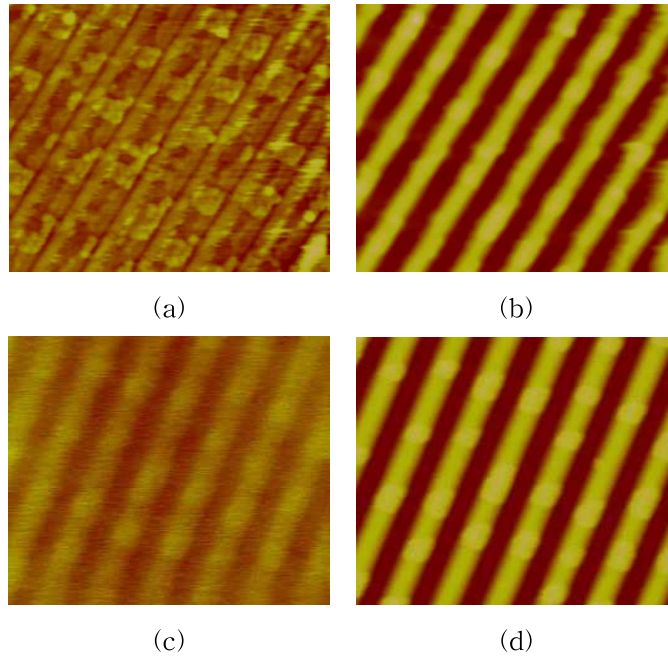


Figure 5. AFM (a, c) and KPM (b, d) images of the deteriorated DVD-R by the accelerated aged (a, b) and light exposure (c, d).

Figure 6은 국가 기록원에 보관된 약 10년 동안 자연적으로 퇴화되어 PI 에러 값이 약 1,000을 갖는 DVD-R 중 임의적으로 선택한 샘플의 원자간력 현미경을 나타낸다. 90년대 말에서 2000년대 초 DVD-R 제품들은 현재의 제품에 비해 랜드와 피트사이가 좁은 것을 알 수 있다. 그리고 표면 또한 매우 거칠기 때문에 더 많은 에러 값을 보이는 것으로 생각된다. 이는 90년대 말에서 2000년대 초기에 나온 DVD-R은 열화가 쉽게 진행되기 때문에 저장된 데이터들은 장기 보존 신뢰성이 매우 떨어진다. 따라서 정보의 보존을 위해서는 다른 매체 또는 기록 보존용 DVD-R로의 데이터 마이그레이션(migration)을 시급히 행하는 것이 요구된다.

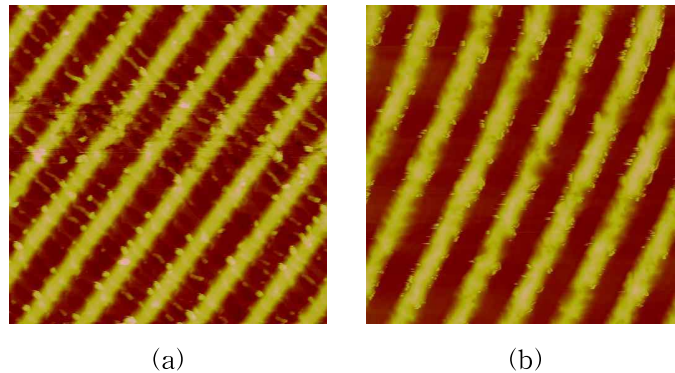


Figure 6. The AFM images of naturally degraded DVD-R for ten years with 1,000 PI errors.

4. 결 론

DVD-R과 같은 광디스크는 온도와 습도, 빛 등의 환경 인자에 의해 열화가 발생한다. 일반적으로 DVD-R의 기대 수명을 측정하는 ISO 평가 방법은 온도와 습도가 열화에 미치는 영향만을 측정하여 평가하는 가속 열화 방법을 사용하고 있다. 가속 열화 방법은 열화된 염료들이 옆의 트랙으로 흐르는 기록 단위의 물리적 변화에 의해 열화되지만, 광조사에 의한 열화는 염료의 화학적 변화에 의한 것이기 때문에 ISO 방법에 의한 DVD-R의 기대 수명을 평가에서 염료의 화학적 변화에 의한 기대 수명의 변화 부분에 대한 보완이 요구 된다.

또한 90년대 말에서 2000년대 초 제조된 DVD-R 제품들은 현재의 제품에 비해 랜드와 피트 사이가 좁아 쉽게 열화가 진행되기 때문에 저장된 정보들을 장기 보존하기 위해서는 다른 매체 또는 보존용 DVD-R로 정보를 마이그레이션(migration)하는 것이 시급히 요구된다.

참고 문헌

- (1) C. J. Shahani, B. Manns and M. Youket, Longevity of CD media, Research at the library of congress, USA(2004).
- (2) Information access division, NIST, NIST Special Publication 500, 263(2005).
- (3) M. Ire and Y. Okino, *Journal of Japanese Applied Physics*, Vol. **46**, 3939(2007).
- (4) M. Ire and Y. Okino, *Journal of Japanese Applied Physics*, Vol 45, 1460 (2006).
- (5) Ch. Sommerhalter, Th. W. Matthes, Th. Glatzel, A. Jäger Waldau, *Appl. Phys. Lett*, 75, 286(1999).
- (6) Quying Chen, D. Gu, F. Gan, L. Xu, and M. Li, *Applied Surface Science*, 93, 151 (1996).
- (7) Oliver Slattery, R. Lu, J. Zheng, F. Byers, and X. Tang, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Vol. **109**, 517(2004).
- (8) Information technology: Digitally recorded media for information interchange and storage—Test method for the estimation of the archival lifetime of optical media, ISO/IEC 10995(2008).