

BD-R TL 매체의 장기 안정성 평가 및 보존 특성 향상에 관한 고찰

Archival Data Stability Evaluation and Aspect of BD-R TL Media

박선주*, 김도현*, 이관용*, 이재용**, 김영일**, 방극영**, 김영주†

Sun-Joo Park, Do-Hyun Kim, Kwan-Yong Lee, Jae-Yong Lee, Young Il Kim,
Keuk-Young Bahng and Young-Joo Kim

Abstract

The Blu-ray Disc Recordable-Triple Layer (BD-R TL) media is considered as one of strong candidates for archival application among optical media formats, due to its large capacity. However, the long-term stability and degradation aspect have not been fully understood yet for BD-R TL media. Thus, the BD-R TL media were recorded at full tracks and analyzed by the random-symbol error rate (R-SER) measurement at different recording layers and recording positions after the accelerated aging test to understand its long-term stability. Finally, the general degradation aspect of BD-R TL media was discussed to improve the long-term stability.

Key Words : Archival application, BD-R TL, Long-term preservation, Data stability, Laser power

1. 서론

디지털 기기의 발달에 따라 고화질 동영상, 사진 등의 전자 데이터의 생성량이 급격히 증가하고 있다. 따라서 이러한 대용량 전자 데이터를 실시간으로 기록하고, 10년 이상 장기 보존을 가능하도록 할 수 있는 저장 매체 및 기록/재생 장치의 중요성이 더욱 커지고 있다. 광디스크(Optical Disk)는 하드디스크나 반도체 메모리 등의 다른 정보 저장 매체들에 비해 물리적, 전자기적 영향에 강한 특성을 가지고 있고, 1회만 기록할 수 있는 포맷을 가지고 있기 때문에 매우 매력적인 장기 보존 매체로 알려져 있다[1-4]. 특히 Blu-Ray Recordable Triple-Layer(BD-R) 미디어는 100GB 이상으로 대용량이며, 1회 기록/다회 재생이라는 장점으로 Optical archival application 으로의 적용 가능성이 주목 받고 있다[5-6]. 한편 BD-R TL 매체의 물리적 크기는 Compact Disc(CD)나 Digital Versatile Disk

(DVD) 규격과 120 mm 로 동일하지만 기록 밀도는 100 배 이상 증가했다[7]. 따라서 매체 내부 구조는 기록 밀도가 증가되면서 복잡도가 증가하였다. 아울러 기존 유기박막 기록층을 사용했던 것과 달리, BD-R 매체에서는 고온 공정이 필요한 상변화 무기물을 기록층을 사용한다는 점이 이전 매체와는 다르다. 따라서 현재 BD-R TL 매체는 기록 마크(Recording Mark)와 기록층, 기록 영역이 모두 nm 수준에서 제어되고 있기 때문에 작은 영향에도 데이터 안정성이 큰 변화를 받게 된다[8]. 그러므로 다층 기록층에서의 각 층별 안정성, 기록 영역별로 데이터의 장기 안정성 역시 차이가 발생할 가능성이 존재한다[9,10]. 따라서 기록층별, 기록 영역별 BD-R TL 의 데이터 장기 안정성에 관한 추가적인 연구가 필요한 상황이다. 이에 본 연구에서는 기록 영역의 수직적 위치(Layers)와 수평적 위치(Radius)가 갖는 장기보존 특성을 고온/고속의 가속 열화 실험을 통해 확인 하였다. 또한 데이터 기록 및 재생에 사용되는 405 nm 레이저 파워가 각 기록층의 데이터에 미치는 안정성 영향을 함께 논하고자 한다. 최종적으로 BD-R TL 매체가 Archival application 에 적용되기 위해 추가적으로 고려되어야 할 요소들을 논의하고 그 개선 방향을 제시하고자 한다.

† Department of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.
E-mail : yjkim40@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-6852

* Center for Information Storage Device

** Department of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

*** Hitachi-LG Data Storage Korea, Inc.

2. 실험 방법

2.1 실험 설계 및 초기 기록

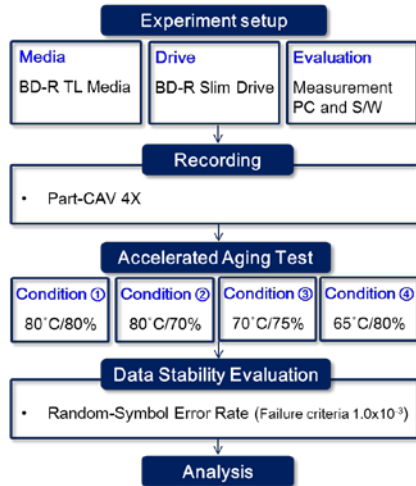


Fig. 1 Experimental procedure of this study for the long-term data stability analysis on BD-R TL by the accelerated aging test

먼저 BD-R TL의 장기 안정성 평가를 위해서 이에 적합한 실험 방법 및 시스템을 구축하였으며 이를 Fig. 1의 순서도를 통해 나타냈다. 크게 실험 준비, 기록, 가속열화, 평가, 분석 순서로 진행된다. 우선 데이터 장기 안정성 평가를 위해 실제 사용 환경과 최대한 일치되도록 상용 BD-R TL 매체를 준비하였다. 또한 데이터의 기록 및 재생에 사용되는 드라이브로는, 광디스크 드라이브의 주류를 이루고 있으며 대용량 광학 장기보존 시스템 (Optical Archival Systems)에서 주로 사용되고 있는 Slim-type을 선정하였다. 아울러 안정성 측정은 PC에 드라이브를 장착하고 전용 소프트웨어를 통해 측정이 진행되도록 시스템을 구축하였으며, 이를 Fig. 2(a)의 모식도를 통해 나타내었다. 아울러 데이터 안정성 평가 기준은 BD-R XL™ Specification Book에서 제시하고 있는 Random-Symbol Error Rate (R-SER) 기준 1.0×10^{-3} 을 판단 임계 수준으로 설정하였다[7]. 모든 BD-R TL 매체는 광디스크 기록/평가 소프트웨어를 이용하여 전체 data address(Full Track)를 기록하였다. 이를 통해 매체 전 영역에서의 안정성 변화를 확인하였다. 아울러 평가의 경우 ISO/IEC 10995에서 제시하고 있는 BD-R Single Layer 기준을 따랐다[6]. 평가를 위한 측정 영역 역시 ISO 기준에서 제시하고 있는 25, 40, 55 mm 지점을 포함한 전체의 5% 영역을 기준으로 했으며, 이를 Fig. 2(b)에 나타냈다. 한편 일반적으로 다층 기록층에 데이터를 기록할 경우,

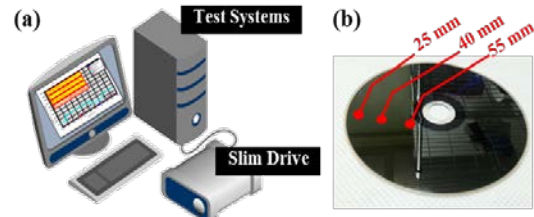


Fig. 2 (a) Schematic of data stability evaluation (random-symbol error rate measurement PC, SW, Slim drive), (b) data stability evaluation region 25, 40, 50 mm.

Table 1 The experimental conditions of write and read laser condition

Laser wavelength	405 nm ± 5 nm
Laser polarization	Circular
Laser write power (relative)	L0 :100%, L1 : 106%, L2 : 98%
Laser read power	L0, L1 : 1.2 mW ± 0.1 mW L2 : 1.1 mW ± 0.1 mW

서로 다른 레이저 파워를 사용하는데 이를 Table 1에 나타내었다.

2.2 가속 열화 실험 설계

광디스크의 수명 예측을 위한 국제 실험 표준, ISO/IEC 10995에 따르면 가속 열화 실험은 미디어를 온도와 습도를 조절한 가상의 열화 환경에 장시간 노출 시키는 방식으로 진행된다. BD-R 미디어의 경우에는 현재 가속 열화 실험에 대한 표준화가 진행 중에 있으므로 이에 대한 조건을 기준으로 온도와 습도 조건을 선정하였다. 즉, 본 연구에서는 총 4 가지 가지의 온도/상대습도 조건, ① 80°C/80%, ②80°C/70%, ③65°C/80%, ④70°C/75%에서

Temp.	Hum.	1 cycle	Total time
80 °C	80%	250 hours	1000 hours
80 °C	70%	250 hours	1000 hours
65 °C	80%	500 hours	2000 hours
70 °C	75%	625 hours	2500 hours

Fig. 3. Accelerated aging test of BD-R TL media and its environmental acceleration conditions

가속 열화 실험이 진행 되었다. 아울러 가속열화에 사용한 오븐사진과 조건은 Fig. 3 과 같이 나타냈다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 초기 기록 품질 및 기록층에 따른 안정성 평가

BD-R TL 매체의 가속열화 실험에 앞서 초기 기록 품질을 측정하였다. 이는 초기 기록 품질이 데이터 장기 안정성에 가장 주요한 영향을 미치는 요소 중 하나로 알려져 있기 때문이다[9]. 따라서 모든 BD-R TL 매체는 초기 기록 직후 R-SER 이 측정되었다. 먼저 초기 시점에서의 기록층별 데이터 품질을 비교해보면 Fig. 4 을 통해서 확인할 수 있는 것처럼 L0 영역이 1.5×10^{-5} 수준으로 측정되었다. 반면 L2 의 경우 4×10^{-5} 으로 상대적으로 가장 낮은 품질을 나타냈다. 또한 장기 가속실험의 결과, 이러한 초기 기록 품질은 결국 최종 품질에 큰 영향을 주기 때문에, 다층 기록 매체 역시 다층 기록 매체와 마찬가지로 데이터 장기 보존을 위해서는 초기 기록 품질이 매우 정밀하게 제어되어야 함을 알 수 있다. 다만 기록층별 데이터 품질을 비교해보면 레이저가 입사하는 면과 가장 가까운 위치에 해당하는 L2 의 데이터 신호 품질이 가장 낮았다는 점을 주목할 필요가 있다. 이는 L0 의 경우 레이저 입사면으로부터 가장 먼 위치에 있음에도 데이터 품질이 우수했다는 점을 상기해보면 다층 기록막 구조가 L0 에 가중치를 두어 제어됐음을 알 수 있으며 이러한 부분은 선행 연구를 통해서도 예상해 볼 수 있다[10]. 이는 다층 기록 매체의 경우 일반적인 현상으로서, 기록/재생

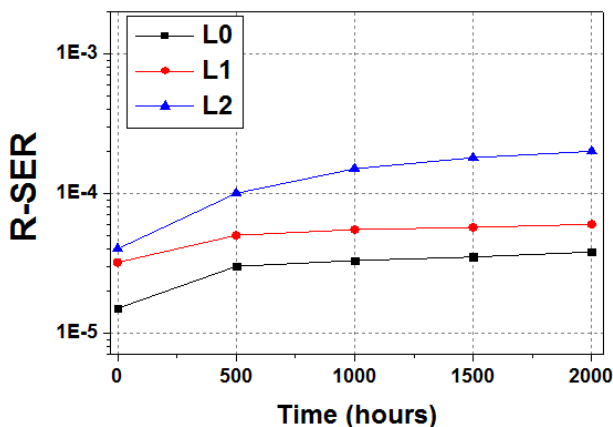


Fig. 4 R-SER trend of BD-R TL each layer according accelerated aging test time and conditions

레이저가 투과해야 하는 내부 L0, L1 에 비교하여 상대적으로 반사도를 낮게 유지하기 때문인 것에 기인하는 것으로 사료된다.

3.2 전체 영역에서의 데이터 장기 안정성 평가

앞서 Fig. 4 를 통해 동일 미디어라 하더라도 기록층에 따라 데이터 품질과 열화 양상이 다를 수 있다는 것을 확인 했다. 한편 수평적 위치에 따라서 초기 및 열화 후의 미디어 품질은 어떤 양상을 나타내는 확인하기 위해 BD-R TL 전 영역의 R-SER 수치를 측정하였다. 먼저 초기 시점에서의 전체 영역의 데이터 품질을 살펴보면 Fig. 4 에서 R-SER 에서 볼 수 없었던 흥미로운 경향을 Fig. 5 에서처럼 관찰 할 수 있었다. 각 기록층별 R-SER 을 측정했을 경우 단순히 L2 가 가장 낮은 기록 품질을 나타낸다는 사실만 확인 됐지만, 실제 전 영역에서 살펴보면, 특정 위치에서 기록품질이 빠르게 열화되는 것을 확인할 수 있었다.

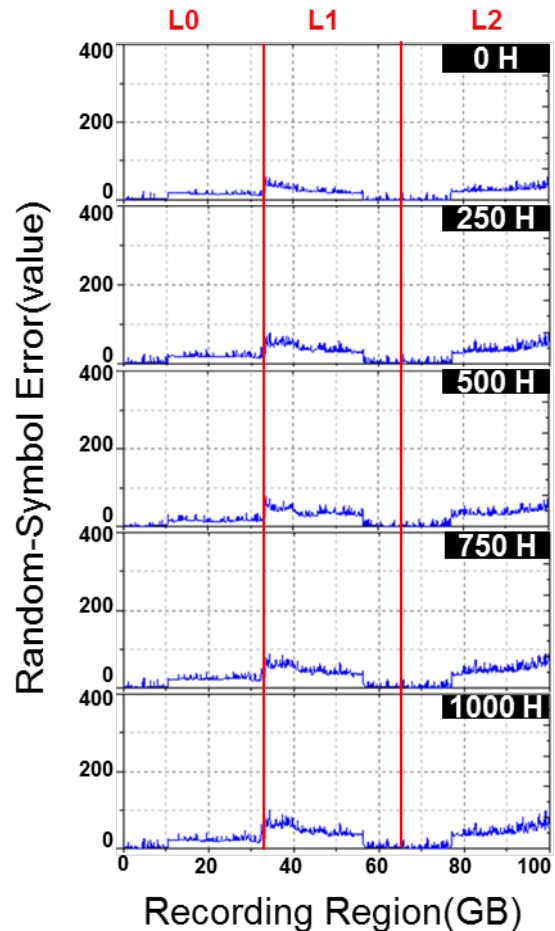


Fig. 5 R-SER value of recording region on BD-R TL media by accelerated aging time

즉, 0GB 및 66GB 부근의 내주 영역에서는 초기 및 가속열화 이후 모두 우수한 기록품질을 나타내고 있으나, 33G 및 100GB 부근의 매체 외주부근에서는 빠른 열화경향을 나타내고 있다. 따라서 데이터 장기 안정성은 기록층별 뿐만 아니라 기록 영역 즉, 내주, 중주, 외주와 더불어 최외주, 기록층 변경 구간 역시 고려되어야 한다는 점을 알 수 있다.

3.3 기록 영역별 데이터 장기 안정성 평가

한편 가속열화 완료 시점에서 데이터 기록 지점에 따라서 안정성은 어떻게 변화하였는지 보다 표준적인 방법으로 분석을 진행하기 위해 ISO/IEC 10995 에서 제시되고 있는 각 기록층별 25, 40, 55 mm 영역, 즉 내주, 중주, 외주에서의 R-SER 측정을 진행하였다[6]. Fig. 6 에 나타나 있는 것처럼, 각 기록층의 영역별로 살펴봤을 때 L2 의 55mm, 외주 영역이 1.0×10^{-3} 의 R-SER 수치가 가장 높게 측정되어 파단 기준에 가장 빨리 도달한 것으로 나타났다. 아울러 L2 뿐만 아니라 L0, L1 에서 모두 외주 영역이 공통적으로 가장 낮은 데이터 품질을 보였다. 반면 가장 안정한 영역으로는 L0 와 L2 의 중주에 해당하는 40 mm 영역으로 나타났다.

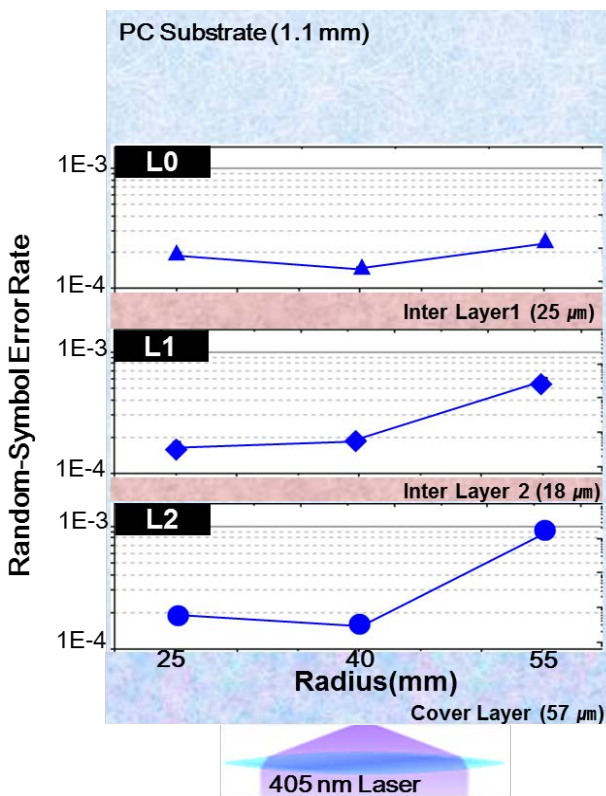


Fig. 6 R-SER as a function of data address (radius, mm) on accelerated aging BD-R TL media

다만 현 수준에서의 내주와 외주의 데이터 장기 안정성을 논하기에는 그 수치들이 모두 파단 기준에 해당하지 않은 상태이다. 아울러, 55 mm 에서 57.5 mm 에 해당하는 최외주 영역의 경우, Fig. 5 를 통해 확인한 것처럼 가장 우선적으로 열화됨을 알 수 있다. 따라서, 100 년 이상 데이터를 장기 보존을 필요로 하는 장기보존 미디어의 경우, 이러한 최외주 영역에 데이터를 기록하지 않거나 보다 세밀한 방법으로 기록 및 재생하는 방식이 요구된다.

4. 결론

탄소 배출권 거래 제도가 본격적으로 도입됨에 따라서 친환경적으로 대용량 전자 기록물을 장기간 보존할 수 있는 수단에 대한 논의가 활발하게 이뤄지고 있다. 그 중 BD-R TL 매체는 이에 가장 강력한 후보로 거론되고 있으나 안정성 검증 측면에 있어서는 그 근거가 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 BD-R TL 이 Optical Archival Systems 과 같이 장기보존 매체로 활용되기에 적합한지, 타당성을 확인하기 위해 매체의 기록층별 기록 영역별 장기 데이터 안정성을 가속열화 실험을 통해 관찰하였다. 먼저 온도와 습도를 기준으로 가속열화 실험을 진행했으며, 초기 기록 품질이 매우 우수한 것으로 나타났다. 다만 L2 의 경우 초기 기록 품질 가중치가 다른 기록층에 비해 낮게 배정된 것으로 사료되며, 이는 R-SER 최고 수치를 기준으로 파단 기준이 되고 이것은 다시 수명치가 낮게 측정되는 문제로 이어질 수 있다는 점을 확인했다. 따라서 L2 기록 품질을 레이저 파워 등을 제어하여 향상이 필요한 것으로 사료된다. 한편 기록 영역별 데이터 안정성의 경우 모든 기록층에서 외주 영역이 가장 낮은 데이터 품질을 나타냈다. 이는 스펀코팅 공정으로 BD-R TL 매체가 제작된다는 점을 고려 할 때 공정의 개선 혹은 외주 영역을 Part-CA(Circular Angular Velocity)로 현 재생 방법을 보완하여 보다 세밀한 재생 방법이 필요한 것으로 판단된다. 또한 전체 기록 영역의 데이터 품질 측정과 ISO 가 제시하는 내주, 중주, 외주의 일부 영역만 제한해서 측정 결과를 비교했을 때, 표준이 제시하는 한정된 영역만을 측정할 경우 실제 가장 안정성이 떨어지는 최외주 영역을 건너뛰게 되면서 실제 데이터 품질과 괴리가 발생할 수 있음을 확인 했다. 최종적으로 L2 의 외주 영역의 데이터 품질이 향상 된다면 장기 보존 매체로서

BD-R TL 이 충분히 유효하다고 결론을 내릴 수 있다.

후 기

We would like to gratefully acknowledge the support of Hitachi-LG Data Storage Inc. and the Center for Information Storage Device (CISD) of Yonsei University.

[10] Sun-Joo Park, Kwan-Yong Lee, Do-Hyun Kim, Young Il Kim, Keuk-Young, and Young-Joo Kimm, 2015, "Effect of Laser Read and Write Power on Long-term Data Stability using BD-R TL media, Proceeding of LDC' 15 – 4th Laser Display and Lighting Conference

REFERENCES

- [1] O.Slattery, R. Lu, J. Zheng, F. Byers. and X. Tang, 2004, "Stability Comparison of Recordable Optical Discs — A Study of Error Rates in Harsh Conditions", Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol.109, pp.517-524
- [2] Kwan-Yong Lee, Dong-Soo Lim, Ki-Hyun Kim, Won-Ik Cho, and Young-Joo Kim, 2012, "Evaluation of Data Stability and Analysis of Degradation Factors of Digital Versatile Disk Recordable for Archival Application", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 51, No. 8, 08JC01
- [3] M. Irie, Y. Okino, and T. Kubo, 2007, "Investigation on Life Expectancy of High-Speed Recordable Optical Discs", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 46, pp.3939-3941
- [4] Kwan-Yong Lee, Won-Ik Cho and Young-Joo Kim, 2011, "Long-term storage features of optical disks according to recording conditions", Proceeding of iPRES 2011 - 8th International Conference on Preservation of Digital Objects, pp. 271-273
- [5] Kwan-Yong Lee, Sun-Joo Park, Yi-Hyung Jo and Young-Joo Kim, 2012, "Long-Term Data Stability Evaluation of BD-R according to Recording Speed for Archival Application", Trans. Soc. Inf. Storage Syst., Vol.8, No.2
- [6] ISO/IEC 10995, 2008, "Information technology - Digitally recorded media for information interchange and storage - Test method for the estimation of the archival lifetime of optical media"
- [7] Blu-Ray Disc Specification, 2010, "System Description of Blu-ray Disc – Recordable Format"
- [8] Jae-Yong Lee, Kwan-Yong Lee, Sun-Joo Park and Young-Joo Kim, 2012, "Data Stability Evaluation of DVD-R Media according to the Recording Speed for Archival Application", International Symposium on Optical Memory, Tu-I-22.
- [9] ISO/IEC 16448, 2002, "Information technology – 120mm Digital Versatile Disc".