

# 기록속도에 따른 BD-R의 데이터 장기보존 안정성 평가

## Long-Term Data Stability Evaluation of BD-R according to Recording Speed for Archival Application

이관용<sup>†</sup>, 박선주\*, 조이형\*, 김영주\*\*

Kwan-Yong Lee, Sun-Joo Park, Yi-Hyung Jo and Young-Joo Kim

(2012년 9월 10일 접수; 2012년 9월 19일 심사완료; 2012년 9월 19일 게재 확정)

### Abstract

Optical disks are widely used in libraries and archives as digital data media due to their long-term storage stability. Though archive-grade optical disks are already available on the market, there is a relative less focusing on the reliable recording conditions. Commercial BD-R media were recorded at various recording speeds with the maximum speed of 6X, and tested at the acceleration aging conditions. Through the evaluation of long-term storage features by the data stability test, lower recording speed of 2x resulted in better long-term storage stability. In addition, degradation aspects of unstable long-term storage feature at outer region of disk were discussed.

**Key Words :** Long-term storage, Archival application, BD-R, Symbol error rate(SER), Recording speed

### 1. 서론

20세기 중반, 디지털 정보 기록의 역사가 시작된 이래로 다양한 형태의 전자기록물이 생겨났으며, 최근 전자정부를 시작으로 각각의 공공기관들과 대기업에서는 종이 없는 사무구조(Paper-less Process)가 보편화 되고 있다. 또한 각종 모바일 기기의 증가와 동영상을 비롯한 다양한 콘텐츠 사용에 따라서 전자기록물의 종류와 양이 급증하고 있으며, 사용 목적에 따라 다양한 정보저장기기에 기록/보존되고 있다. 이러한 기록물들은 컴퓨터만 있으면 원본과 동일한 정보를 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 시간이 흐름에 따라서 외부 보존 환경에 따른 저장매체의 오류 발생과 내구성 퇴화로 손실 될 우려가 상존하고 있다. 여러

정보저장기기 중 광디스크는 전자기력에 대한 저항성이 매우 우수하고 기록/재생 기기와 보존매체의 착/탈이 간편하다는 장점 때문에 장기보존 매체로서 주목 받고 있다. 이에 CD, DVD의 경우 장기 보존에 따른 재생특성의 변화와 데이터 열화 원인에 대한 연구가 활발히 전개되었다[1-3]. 그러나 정보의 대용량화가 진행되면서 데이터 기록속도에 따른 장기보존 특성이 새로운 문제점으로 인식되고 있다. 일반적으로 저배속으로 기록 할 수록 안정적인 특성을 가진다고 알려져 있으나, 최근 연구에 따르면 DVD-R 16x 미디어의 경우 반드시 저배속 기록방식이 아니더라도 드라이브 제조업체들의 write strategy 조정을 비롯한 기록기술이 장기보존 기록 수준에 도달했기 때문에, 미디어가 16 배속에 적합한 미디어라면 4 배속이 아닌 16 배속으로 빠르게 기록해야 장기보존에 더 적합하다고 주장한다[4]. 본 연구에서는 이와 같은 선행 연구들을 바탕으로 광디스크의 최신 포맷인 BD-R 25GB 미디어를 이용하여 기록배속에 따른 장기보존 안정성을 온도와 습도를 이용한 가속열화 실험과 오류율(Symbol Error Rate, SER) 측정을 통해 확인하고, BD-R의 열화 양상에 대해 고찰하였다. 또

<sup>†</sup> Graduate Program of Information Storage Eng., Yonsei Univ.  
E-mail : gladiator9@yonsei.ac.kr  
TEL : (02) 2123 - 4677

\* Graduate Program of Information Storage Eng., Yonsei Univ.

\*\* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

한 장기보존 미디어로서의 BD-R 미디어가 갖추어야 할 조건에 대하여 논의해 보고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 실험 광디스크의 기록

먼저 기록배속에 따른 데이터 안정성 비교를 위하여 8 배속까지 기록이 가능한 고배속 BD writer를 준비했다. 상용 광디스크 드라이브는 일반적으로 PC에서 사용하는 Half-height type 과 노트북, 넷북 등 얇은 기기에서의 사용을 위한 Slim-type으로 유통되고 있으며, 본 실험에서는 현재 광디스크 드라이브의 주류를 이루고 있는 Slim-type 드라이브를 선정하여 진행하였다. 또한 실험 광디스크로는 6 배속까지 기록이 가능한 BD-R single layer를 준비했다. 미디어 기록은 광디스크 기록/평가 소프트웨어를 통해 진행되었다. 고배속 광디스크 기록방법에는 Constant Linear Velocity(CLV) 방식과 Constant Angular Velocity(CAV) 방식으로 크게 두 가지의 방법이 있으며, 원하는 기록배속에 따라서 적절히 두 가지를 혼합하여 기록하게 된다. 본 연구에서는 미디어 기록배속을 2 배속, 4 배속, 6 배속의 3 가지로 나누어 각각의 기록배속 별로 5 장씩 Full-track(25GB) 기록하였다. 각 배속 별 기록방식은 2 배속은 CLV 방식, 4 배속은 Partial-CAV 방식, 6 배속은 CAV 방식으로 진행되었으며, 각 기록배속 별 기록방식을 Fig.1에 나타내었다.

### 2.2 가속 열화 실험

광디스크의 수명 예측을 위한 국제실험표준, ISO 10995에 따르면 CD와 DVD를 위한 가속 열화실험은 온도와 습도를 조절한 가상의 열화환경을 만들어주는 방식을 사용한다[5]. 그러나 BD-R 미디어의 경우에는 가속열화실험을 위한 표준이 마련되어있지 않다. 따라서 본 연구에서는 광디스크에 미치는 환경적 영향이 CD, DVD, BD 모두 유사하다고 가정하여 동일한 실험 표준을 근거로 온도/습도 조건을 85°C/85%RH로 설정하고, 항온/항습 챔버를 이용해 실험조건을 유지하였다. 온도와 습도의 급격한 변화에 따라 미디어가 물리적으로 손상되는 것을 방지하기 위해서 고온/고습까지 변화하는 시간을 6시간으로 정하여 영향을 최소화하였고, 고온/고습 상태의 가속열화실험이 종료되면 상온/상습에서 24시간동안 평형화 기간을 가지도록 하였다. 온도/습도 조건과 더불어 중요한 인

자인 실험시간은 Y. Huang의 연구를 참고하여 100시간씩 3회, 300시간 진행하였다[6]. 다수의 미디어가 장시간 고온/고습 환경에 노출되기 때문에 물방울 생성, 이물질 흡착 등 문제가 발생하기 쉽다. 이에 각각의 미디어 사이에 2mm 이상 공간을 두고 챔버 내부 공기의 유동을 고려하여 세로로 미디어를 세워둘 수 있는 홀더를 테프론으로 제작하여 사용했다.

### 2.3 데이터 안정성 평가

가속열화실험이 100시간 진행될 때 마다, 실험 미디어의 안정성을 평가하기 위해 Symbol Error Rate(SER)를 측정하였다. SER은 DVD의 PI sum 8 value와 유사한 오류율 척도로서 BD-R의 데이터 상태를 평가할 때 일반적으로 사용하는 수치이다. 본 연구에서는 측정된 SER 값을 BD 규격을 참고하여  $2.0 \times 10^{-4}$  이하일 경우 최상의 상태(Best),  $1.0 \times 10^{-3}$  이하일 경우 드라이브와 미디어 모두 안정한 상태(Good),  $4.2 \times 10^{-3}$  이하일 경우 심한 오류 발생상태(Bad), 그 이상의 수치일 경우 드라이브와 미디어 모두 심각한 열화 상태(Worst)로 구분하였다[7]. 또한 미디어의 물리적인 위치(내주, 중주, 외주)에 따른 데이터 안정성 변화를 관찰하기 위해서 실험 미디어의 전 영역에서의 SER을 측정했고, 최대 오류율(Max SER)을 데이터 안정성의 대표값으로 활용하였다.

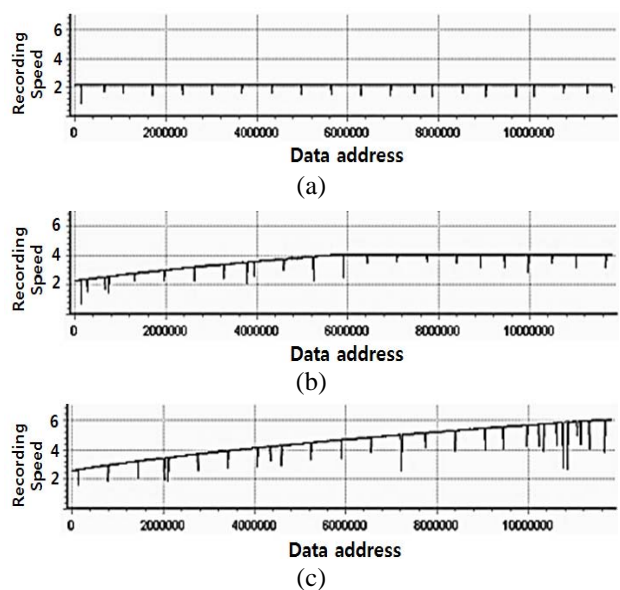


Fig.1 . Various recording conditions for BD-R at (a)2x: CLV, (b)4x: partial-CAV, (c)6x: CAV.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 초기기록 상태의 SER 측정 결과

BD-R의 가속열화 실험을 진행하기 전에 초기 기록된 데이터의 안정성을 확인할 필요가 있기에 초기 SER을 측정하였다. 측정 결과에 따르면, 초기 기록된 미디어는 기록배속에 상관없이 대부분의 영역(Data Address)에서  $2.0 \times 10^{-4}$  이하의 값을 보여 기록데이터 대부분이 Best 등급으로 기록된 것을 확인하였다. 또한 각 기록배속 별 실험 미디어의 평균 Max SER 역시 2 배속은  $3.7 \times 10^{-4}$ , 4 배속은  $3.9 \times 10^{-4}$ , 6 배속은  $3.7 \times 10^{-4}$  로서 모두 Good 등급으로 확인되었다. 그러나 이러한 BD-R의 초기 오류 양상은 국부적 오류가 발견되지 않은 DVD+R, -R의 초기 기록 상태와 다른 특이한 현상이며, 모든 실험 미디어에서 이러한 양상을 유사하게 관찰되었다[8]. 측정된 Max SER 역시 모두 이러한 국부적 오류에 의한 값이기에 미디어 착/탈 할 때의 먼지, 물방울 등 외부 이물질 영향이 의심되어 미디어 표면을 재차 세척하여 측정하였으나 결과는 동일한 것을 확인했다. 현 상태의 미디어로 가속 열화 실험을 진행하였다. 기록배속 별 초기 기록된 미디어의 SER 측정 결과를 Fig.2에 나타내었다.

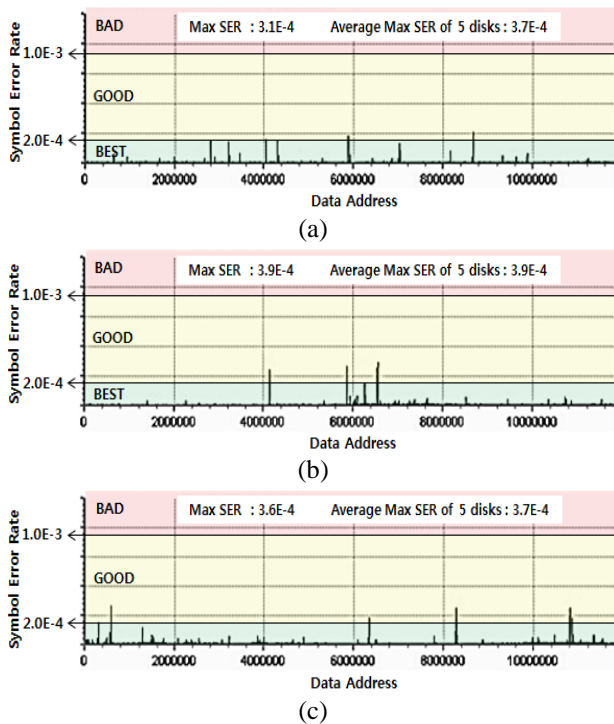


Fig. 2 Symbol error rate (SER) evaluation results at the initial state with different recording speeds of (a) 2x, (b)4x, (c) 6x.

#### 3.2 가속 열화된 실험 미디어의 오류율 변화

85°C/85%RH 조건에서 가속 열화된 BD-R 실험 미디어의 Max SER 변화는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 각각의 데이터는 기록배속 조건 별 5장의 미디어의 평균 Max SER을 의미하며, 초기 기록된 실험 미디어들은 앞서 확인한 바와 같이 유사한 평균 Max SER 값을 가졌다. 첫 번째 가속열화 실험 주기가 지난 100 시간 결과를 살펴보면, 2 배속과 4 배속 기록 미디어의 평균 Max SER은 각각  $6.9 \times 10^{-4}$  과  $6.8 \times 10^{-4}$  으로 여전히 Good 등급에 속하지만, 초기 기록 상태와 비교하면 오류율이 약 2 배 증가한 것을 확인할 수 있다. 특히 6 배속 기록 미디어의 경우  $1.4 \times 10^{-3}$  의 평균 Max SER 값을 가졌으며, 이 값은 초기기록 대비 4 배 증가한 값으로 Bad 등급으로 평가된다. 이러한 오류율 증가 양상은 가속 열화 실험을 진행 할 수록 분명해졌다. 300 시간의 가속열화 실험을 진행하였을 때, 2 배속 기록 미디어의 평균 Max SER은  $1.1 \times 10^{-3}$ , 4 배속의 경우  $1.6 \times 10^{-3}$ , 6 배속의 경우  $6.1 \times 10^{-3}$  로 측정 되었으며, 이 값들은 초기기록 오류율 대비 각각 3.1 배, 4.1 배, 16.4 배 증가한 값이다. 이에 따르면, 6 배속 기록의 경우 가속 열화 실험을 진행 할 수록 오류율 증가현상이 가장 심하게 나타났고, 2 배속과 4 배속의 오류율 증가는 유사한 증가를 보였으나 2 배속이 비교적 낮은 오류율을 보였다. 특히 6 배속 기록 미디어의 경우, 300 시간 가속 열화한 미디어의 안정성이 Worst로 구분되었다.

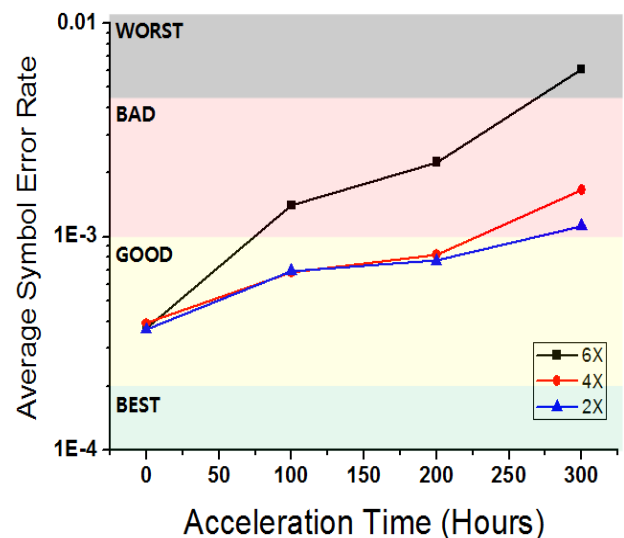


Fig. 3 The average SER value of BD-R media as a function of recording speed after the acceleration aging test at the severe condition of 85°C/85%RH.

### 3.3 데이터 주소에 따른 데이터 안정성 변화

평균 Max SER의 변화 양상을 통해서, BD-R의 기록 배속에 따라서도 장기보존 안정성이 달라질 수 있다는 것을 확인했다. 그러나 Max SER 값은 기록된 데이터 중 최대 오류율이라는 특성상 미디어 오류의 대표값은 될 수 있지만 정확히 미디어의 어느 영역이 오류에 취약한지는 알 수 없다. 이에 BD-R 미디어의 환경적 영향에 의한 장기보존 특성이 취약한 부분을 확인하기 위하여 데이터 기록 위치 별 오류율 증가 추이를 관찰하였으며 그 결과를 Fig.4-6에 나타내었다. 먼저 초기 기록된 미디어의 SER 측정 결과에서 나타났던 국부적 오류는 가속 열화실험을 진행하는 동안 동일한 데이터 영역에서 관찰되었다. 국부적인 오류 발생 영역 주변으로 열화가 진행되는 일반적인 DVD-R의 열화양상과 다르게 주변의 데이터 영역으로 오류가 전이되지는 않았다[4,8]. 또한 광디스크의 외주 데이터 영역(Outer Data Addresses)부터 오류율 증가가 심화되는 현상이 확인되었다. 먼저 2 배속으로 기록한 미디어의 경우, 200 시간 열화하는 동안 외주영역의 오류율 증가가 확인되었으나 전 영역의 SER 값은 Fig.4(c)와 같이 Good 영역인  $1.0 \times 10^{-3}$  이하의 값을 보였다. 300 시간 열화실험 후, 외주의 오류율이 증가하여 Fig.4(d)의 박스부분과 같이 Bad 데이터 영역이 생겼으며, 이 영역은 미디어 전체 데이터 양의 8.6%에 해당된다. 이러한 양상은 4 배속 기록의 경우에도 동일하게 나타났다. 200 시간의 가속 열화실험이 진행된 미디어는 Fig.5(c)와 같이 전 영역에서  $1.0 \times 10^{-3}$  이하의 SER 값을 보였으나, 300 시간 열화 후에 34.2%에 해당하는 데이터가 Bad 등급에 속했다. 6 배속으로 기록한 경우는 Fig. 6 과 같이 200 시간 열화 후 15.4%에 해당하는 데이터가 이미 Bad 등급에 해당하는 오류율을 보였고, 300 시간 열화 후에는 Bad 등급이 27.2%, Worst 등급이 12.5%로서 총 데이터의 39.7% 영역이  $1.0 \times 10^{-3}$  이상의 SER 값을 보였다. 실험에 사용된 모든 미디어에서 이러한 양상은 동일하게 관찰할 수 있었으며, 특히 내주에 기록된 데이터의 경우 300 시간의 가속 열화가 진행된 후에도 전혀 데이터 열화가 진행되지 않아서 Best 등급을 보이고, 외주의 데이터에서만 Bad 등급으로 오류율이 증가한 양상이 가장 많았다. 또한 열화시간에 따른 오류 영역의 증가가 고배속으로 기록 될 수록 빠르게 진행되었기에, 외주의 오류율 증가 원인으로 기록방법이 중요한 인자 중 한가지라고 판단된다.

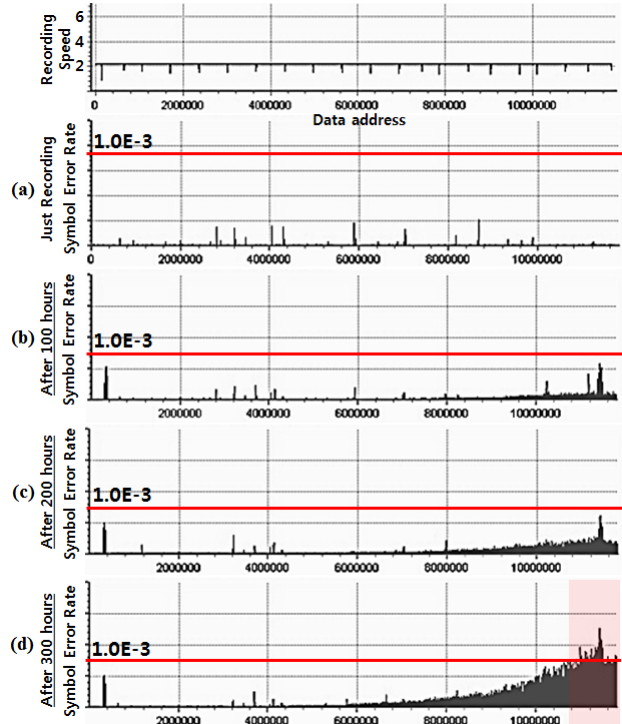


Fig. 4 The SER value of 2x-recorded media as a function of track positions, (a)at initial recording, (b)after 100 hours, (c)after 200 hours, (d)after 300 hours

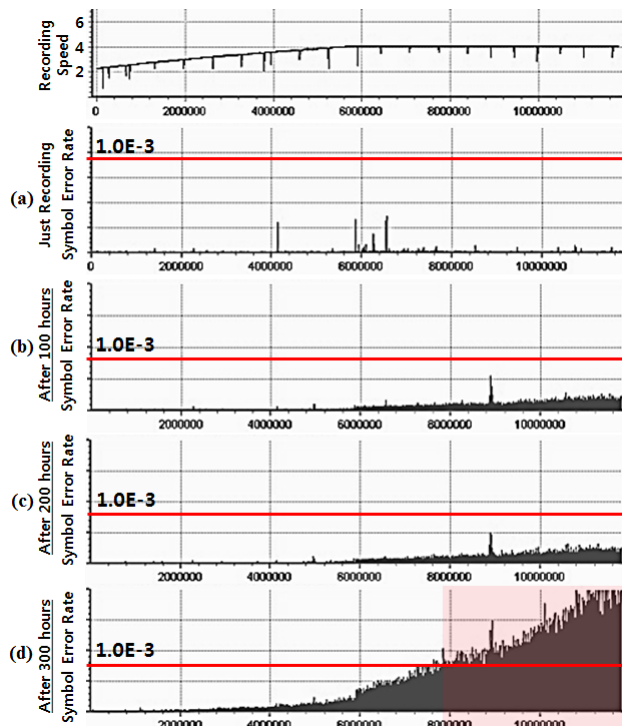
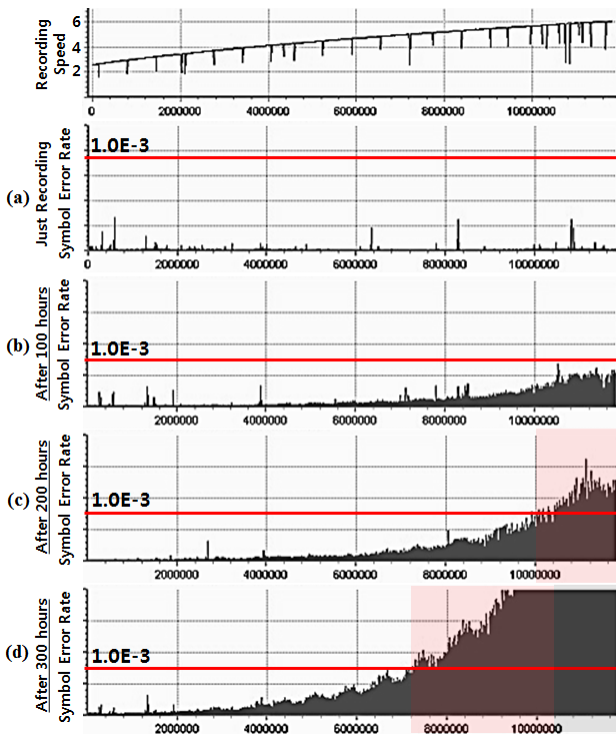


Fig. 5 The SER value of 4x-recorded media as a function of track positions, (a)at initial recording, (b)after 100 hours, (c)after 200 hours, (d)after 300 hours



**Fig. 6** The SER value of 6x-recorded media as a function of track positions, (a)at initial recording, (b)after 100 hours, (c)after 200 hours, (d)after 300 hours

### 3.4 BD-R의 오류 양상에 관한 고찰

실험에 사용된 BD-R의 가속 열화실험에 따른 오류율 변화 양상은 그 증가 정도에는 차이가 있지만 유사한 메커니즘을 가지고 있다. 즉, 데이터 열화가 미디어의 최외각 영역에서 시작되고, 열화가 지속될수록 중주까지 그 열화 범위가 넓어지는 양상이 바로 그것이다. 이러한 오류율 증가 양상이 발생하는 원인에 대해서는 미디어 자체와 이를 기록하는 드라이브에서 찾아볼 수 있다. 먼저 300 시간의 가속 열화실험을 진행하는 동안 BD-R 미디어의 내주 영역의 오류율 변화를 살펴보면 초기의 Best 등급에서 전혀 변하지 않고 있음을 확인할 수 있다. 반면에 외주 영역에서만 적게는 8.6%, 많게는 39.7%의 데이터가 Bad 등급으로 열화 된다. 내주 영역의 경우 클램핑(Clamping)영역부터 데이터 리드인(Lead in)까지 거리(데이터 영역까지의 거리)가 외주의 리드아웃(Lead out) 영역보다 넓지만, 양쪽 모두 실링(Sealing)이 필요한 끝단 부분임에도 외주 영역에서만 마치 이물질이 침입해 들어온 듯이 오류율이 증가하는 것은 분명 외주 끝단 실링의 문제 때문이라고 판단된다. 이 때문에 장기 보존 매체로서의 BD-R 미디어 사용을 위해서는 외주 실링 관련한 공정의 개선이 절대적으로

**Table 1** Laser condition for BD-R recording

<i>Recordable Blu-ray Disc™</i>	
<i>Diameter</i>	120mm
<i>Capacity</i>	(Single Layer) 25GB
<i>Recording power</i>	~6mW (1x), ~7mW (2x), ~10.5mW (4x), 14mW (6x)

필요하다. 또 한가지 주목해야 할 것은 외주 영역부터 시작되는 오류율 증가가 고배속 기록일 수록 심화 되었다는 점이다. 그 원인은 BD-R의 기록 조건에서 찾아볼 수 있다. BD-R 규격에서는 미디어 기록을 위한 레이저의 기록 출력을 Table. 1과 같이 정하고 있다[7]. 이에 따르면 고배속 기록일 수록 레이저의 출력을 크게 증가시키도록 되어 있으며, 2 배속 기록과 6 배속 기록의 레이저 출력은 2 배 증가시켜 기록하도록 하고 있다. 이러한 이유는 빠른 데이터 전송속도를 유지하기 위해서 미디어의 회전속도를 증가시키기 때문에 기록층이 충분한 광학 에너지를 받게 하기 위해서는 강한 레이저 출력이 필요하기 때문이다. 하지만 이와 동시에 늘어난 레이저 출력은 기록층까지 전달되기 전에 투명한 하드코트(Hard Coat)를 통과하기 때문에, 낮은 출력으로 기록했을 때보다 높은 출력으로 기록했을 때 비교적 큰 영향을 줄 수 있다. 이러한 이유 때문에 실링된 영역이 받는 악영향이 커지고 보존특성을 저하시키는 원인이 된 것이라 판단된다.

## 4. 결론

여러 도서관과 기록물 보존소에서 광디스크를 정보 보존매체로 사용하고 있는 현재, 최신 포맷인 BD-R의 장기보존 특성 연구는 필수 불가결한 일이다. 특히 HD 고화질 동영상 등의 고용량의 정보들이 지속적으로 생성되고 있기 때문에 장기 보존 특성과 더불어 빠른 기록속도 역시 정보저장 기기의 매우 중요한 특성이라 할 수 있다. 본 연구에서는 BD-R의 기록 속도에 따른 장기보존 안정성 평가를 위해서 고온/고습의 가속 열화 실험을 진행하고 SER의 변화를 관찰했다. 먼저 3가지 기록 배속에 따른 BD-R의 초기 데이터 안정성을 평가한 결과, Bad data 임계점인  $1.0 \times 10^{-3}$ 에 훨씬 못미치는 오류율을 보였다. 그러나 CD와 DVD의 오류 양상과는 다르게 국부적인 Peak 형태의 초기 오류 양상을 보이는 것을 확인했다. 장

기보존 특성의 비교를 위해서 각 기록 배속별 평균 Max SER 을 초기 기록 값과 비교한 결과, 2 배속은  $1.1 \times 10^{-3}$  로 3.1 배 증가했고, 4 배속은  $1.6 \times 10^{-3}$  로 4.1 배, 6 배속은  $6.1 \times 10^{-3}$  로 16.4 배 증가하여, 고 배속으로 기록할 수록 데이터 열화가 빠르게 진행되는 것을 확인했다. 이러한 데이터의 열화는 미디어의 외주영역에서 시작하여 열화가 진행 될 수록 미디어의 중주 쪽까지 심화되는 양상을 보였다. 이러한 현상의 원인으로는 미디어 외주 영역의 실링 및 하드코트 접착력 이상 등의 낮은 열화 저항성 등이 예상되며 문제 해결을 위해서 외주 실링 개선이 요구된다. 또 이러한 현상은 고배속 기록에서 더욱 심화되었으며, 그 원인은 기록 속도가 빨라지면서 레이저 출력을 증가시키기 때문에, 고출력 레이저와 하드코트 간의 상호작용이 실링 이상을 심화 시키는 것으로 판단된다. 따라서 장기보존 매체로서의 BD-R 을 위해서는 미디어의 실링 공정단계 개선이 절대적으로 필요하고, 이와 더불어 하드코트에 영향을 최소화하는 레이저 기록 방식이 요구됨을 확인했다.

## 후 기

이 논문은 행정안전부 국가기록원 재원으로 2012 년 기록보존기술 연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

- [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] J. Iraci, 2005, "The Relative Stabilities of Optical Disc Formats", Restaurator, Vol. 26, No. 2, pp.134-150
- [3] M. Irie, Y. Okino, and T. Kubo, 2007, "Investigation on Life Expectancy of High-Speed Recordable Optical Disks", 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] 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"
- [6] Ying-Yen Huang, Yung-Hui Hung, Cheng-Pi Li, Min-Hao Pan and Kun-Long Li, 2011, "A Dual Layer Blu-ray Recordable Disc with Improved Archive Lifetime", Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage, OSA Technical Digest (CD), paper OTuD10
- [7] Blu-Ray Disc Specification, 2010
- [8] 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