

主題

# 차세대 광 디스크 Blu-ray Disc 규격 및 어플리케이션 동향

삼성전자 고 정 완, LG전자 김 진 용  
 마쓰시다 다나카 신이치, 파이오니아 요코가와 후미히코  
 히다찌 오쿠 마수오, 필립스 Jacques Heemskerck  
 샤프 다카하시 아키라, 소니 오카와 히로시  
 톰슨 Hans-J.Platte

차 례

- 1. Blu-ray의 목표
- 2. 보호층 두께의 최적화
- 3. Blu-ray disc 규격
  - 3.1 물리 규격
  - 3.2 BD의 파일, 어플리케이션 규격
  - 3.3 주요 BD의 사양
- 4. 2층 디스크
- 5. 콘텐츠 보호 시스템과 인터페이스
- 6. Blu-ray Disc와 카트리지
- 7. 블루레이 디스크 규격의 로드맵

차세대 광 디스크 규격인 Blu-ray Disc (BD)는 한국, 일본 및 유럽의 우수한 전자 메이커 9개사가(Sony, Philips, Matsushita, Samsung, LG, Sharp, Pioneer, Hitachi, Thomson Multimedia) 모여 BDF(Blu-ray Disc Founder)를 결성하고 재 기록 가능한 매체인 BD-RE disc를 중심으로 BD-ROM, R disc 및 어플리케이션 규격 완성을 위해 노력하고 있다. BD는 HD급 화질 영상을 2시간 이상 기록 재생 가능하도록 25G 이상의 용량을 목표로 하고 있다. 본고는 9C 멤버들이 기술 설명을 위해 작성한 백서 중 기술 총론에 대한 것이다.(최근 Mistubishi가 합류하여 10C가 되었다.)

Blu-ray재기록 가능한 디스크 규격(BD-RE 규격)이 발표되었다. 이들 규격 책정에 있어서는 그 시대에 필요한 어플리케이션에 적합한 저장 용량이 주요한 요소가 되었다.

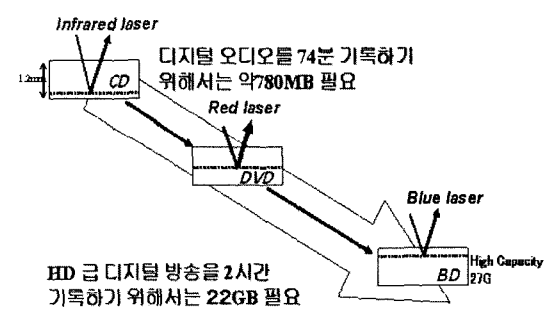


그림 1-1 광 디스크 용량의 진화

## 1. Blu-ray의 목표

12 cm 광디스크로는 1982년에 도입한 CD, 1996년에 도입한 DVD에 이어 지난 해

CD를 도입할 당시에는 2채널의 오디오 신호를 74분간 기록하는 것이 요구 사항으로, 약 800M의 용량이 필요했다. DVD에서는 가정용 비디오

기기로서 SD (Standard Definition) 급 화질의 MPEG-2 규격으로 압축한 영화를 2시간15분 기록하는 것이 요구 사항이며 `화질과의 재생시간의 균형을 고려하여4.7 GB의 용량으로 규정 되었다. 그런데, Blu-ray \*1) 디스크 (이후 BD)의 경우는 일본에서 2000 년에 BS 디지털 방송이 시작되고, 또 올해는 지상파 디지털 방송이 시작될 예정으로, HDTV의 디지털 방송을 2시간 이상 기록해야 한다는 요구가 발생했다. 지금의4.7G 용량의 DVD 레코더는 방송을 수신하여 복호한 비디오 신호를 MPEG 인코더로 다시 압축 하여 디스크에 기록한다. HDTV 방송에서도 같은 기능을 실현하려면, HDTV 급 영상을 부호화하는 MPEG-2 인코더가 필요하지만 이것을 가정용 기기에 도입하기에는 아직 시간이 필요하다. 더욱이 디지털 방송에서는 데이터에 암호화를 위한 스크램블이 걸려 있고 이것을 그대로 기록 후 재생 하여 TV 수신기로 송출하는 것이 바람직하다. BS 디지털 방송의 경우 고정 레이트의 데이터 스트림으로 신호가 송출되므로 HDTV 하나의 프로그램의 데이터 전송 속도는 24Mbps다. 그림 1-2는 데이터의 전송 속도와 기록시간을 변수로 기록 용량을 나타낸 것이다.

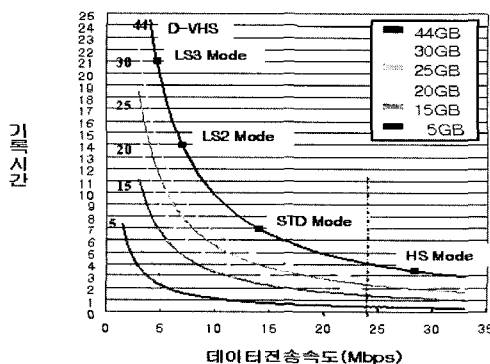


그림 1-2 전송 속도와 기록 시간

2시간의 영상을 녹화 하기 위해서는 22GB 이상의 기록 용량이 필요하게 된다. 이것은 DVD 기록 용량의 약5배이고, 단순히 DVD기록 밀도를 올리는 수법으로는 달성할 수 없는 용량이었다.

이5배의 밀도 달성을 위해 청자색 레이저를 채용하고 렌즈의 개구 수를 크게 하였으며 빛을 투과하는 기관을0.1mm로 얇게 하였다. 또한 두께를 균일하게 하고 기관 두께 및 2층 디스크에 대응한 픽업의 수차 보정 시스템을 이용하였으며, 변조 방식을 연구하여 에러 정정 회로의 효율을 떨어뜨리지 않고도 강력하게 하였다. 그리고 신호를 읽기 위해서 비터비 복호 방식을 이용하여 S/N 비율을 개선하였고, 부호간 간섭의 개선을 꾀하였다. 그리고 온 그루브 기록을 하였으며, 신뢰성이 높은 위블 어드레스를 이용하였고, 고속으로 기록할 수 있는 상 변화 미디어를 개발하는 등의 기술을 개발해왔다. 또, AV 어플리케이션을 위한 논리 규격에서도 녹화 기기로서의 편리한 기능이 실현될 수 있도록 하였다.

0.1mm의 광 투과층 채용의 이유와 2층의 기록 디스크에 대해서는 Blu-ray규격의 키가 되는 부분으로서 각각 하나의 장을 할애하여 해설한다.

기록형 시스템에 이어서 재생 전용 시스템 및 한번 기록 가능한 시스템의 검토도 시작했다.

차세대 새로운 패키지 미디어의 보급에는 고화질뿐만 아니라 핵심이 되는 새로운 기능의 도입이 필수적이다. 예를 들면 VHS에서 DVD로의 이행 시에는 디지털 기록과 인터랙티브 기능이 새롭게 도입되었다. BD-ROM에서는 영화 산업에서의 요구를 반영시키면서 한 층 더한 인터랙티브 기능과 급속도로 보급되고 있는 브로드밴드 네트워크 서비스와의 연결을 고려한 사양으로 할 예정이다.

1) Blue-ray를 잘못 기록한 것이 아니다.상표 등록상 일반적인 용어는 등록할 수 없어 의도적으로 e 을 뺐다.

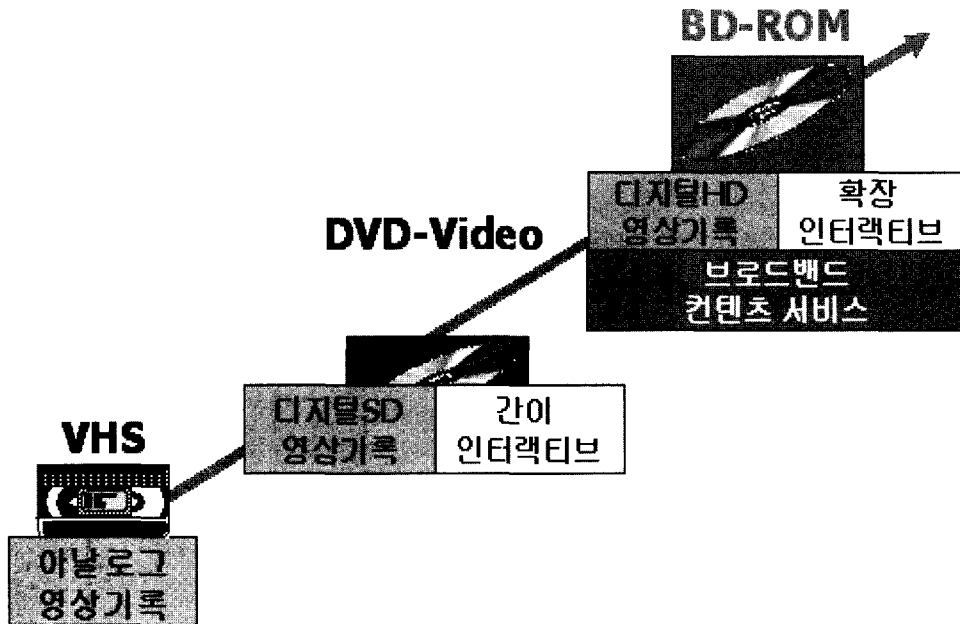


그림 1-3. 영화용 패키지 미디어의 변화

최근 한국과 일본, 미국에서 디지털 HD방송이 시작되어 고화질이면서 대 화면의 PDP 나 액정이 가정 내에 보급되고 있다. BD-RE에 의한 HD 디지털 방송 기록과 BD-ROM에 의한 HD 패키지는 이러한 흐름을 더욱 가속시킬 것으로 예상되며, HD추진의 기폭제로서 기대된다.

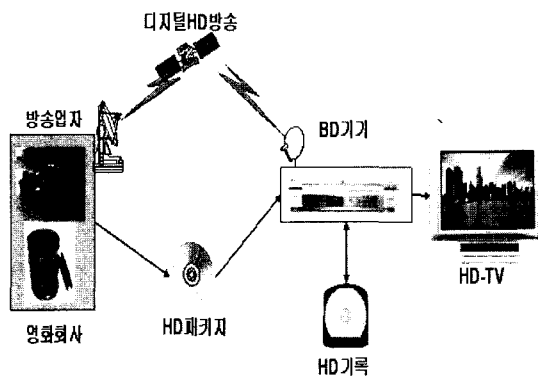


그림 1-4. 기록 및 패키지 미디어로서의 BD 어플리케이션

## 2. 보호층 두께의 최적화

광 디스크는 투명 보호 층을 투과하여 정보를 기록/재생하기 때문에 디스크 표면의 오염이나 먼지로 인한 영향을 잘 받지 않는다는 것이 특징이었다. 최초로 등장한 광디스크는 비디오 디스크였는데 이것은 1.2mm 두께의 기판을 통해 정보를 읽었다. 이 두께가 결정된 배경은, 아날로그 기록이었기 때문에 디스크가 더러워짐으로 인한 S/N비의 열화를 최소화하는 다음과 같은 조건이 있었다.

- 30cm 지름에서도 성형 가능 하도록 한다
- 디스크의 기계적 강도를 지킨다
- 평면성과 광학적 균일성을 만족하는 범위에서 가능한 한 얇게 한다.

마지막 조건은 보호 층이 얇은 편이 레이저 광을 집중 시키는 대물 렌즈의 집속 성능을 쉽게 얻을 수 있기 때문이다. 이 대물 렌즈의 집속 성능은 NA이라는 수치로 표현되며 집속 광 스폿의 지름은 NA에 반비례하여 작아진다.

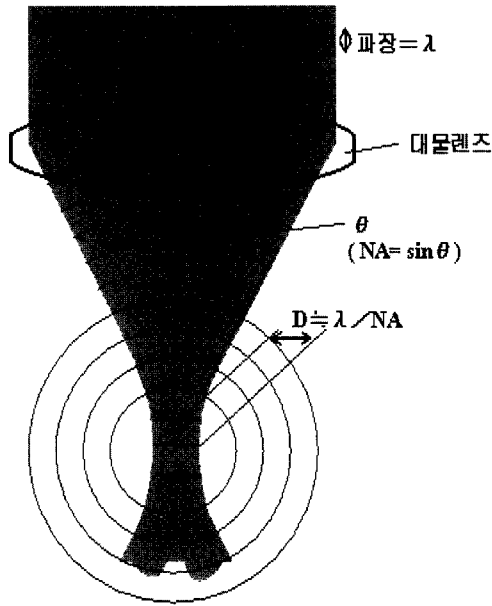


그림 2-1 NA 와 광 반경과의 관계

(대물렌즈에 따라서 집속되는 광의 집속반각  $\theta$  의 Sine값을 NA (Numerical Aperture)라고 한다. 수축광의 에너지의 약 80%가 (빛의 파장/NA) 을 직경으로 하는 영역 내로 집속된다.)

그래서 NA는 가능한 한 크게 하려 했지만 대물 렌즈의 광 축이 디스크에 대해서 수직에서 기울어지면 집속 성능의 열화(수차)가 발생하고 그 양은 NA의 세 제곱에 비례하여 커진다. 디스크의 휨이나 장착 시 기울기로 인해 디스크가 대물 렌즈의 광 축에 대해서 어느 정도 기울어지는 것은 피할 수 없어 이것이 NA의 값을 크게 하는 것을 방해해왔다.

한편 디스크의 기울기에 따라서 발생하는 수차는 보호층의 두께에 비례한다. 이 수차는 디스크의 기울기에 따른 보호층 경계면에서의 굴절각 오차때문으로 이 굴절각 오차로 인해 광 스팟이 흐려지는 크기는 광의 입사 경계면에서 광 스팟

까지의 거리에 비례하기 때문이다.

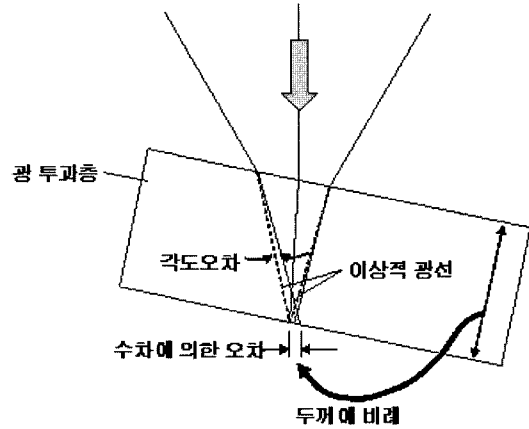


그림 2-2. 보호층 두께와 광 수차와의 관계

광 디스크가 경사되어 광 보호(투과)층에 비스듬하게 광이 입사되면 공기와의 계면에서 한 점으로 집속하기 위한 이상적인 굴절각에 대해서 굴절각의 오차를 발생한다. 이 오차가 수차로, 수차에 의한 집속 광의 오차는 굴절계면에서 집속점까지의 거리(광투과층두께)에 비례한다.

CD에서 두께를 결정할 당시는 처음 두 가지 조건은 모두 해결 되었지만, 1.2mm의 같은 보호층 두께가 계속 사용되었다. 대물 렌즈의 NA의 값을 올리지 않아도 디지털 오디오에 필요한 용량은 12cm지름의 소형 디스크에서 충분히 확보되었기 때문에 대물 렌즈의 호환성을 더 중시한 결과다.

보호층의 두께가 달라지면 대물 렌즈의 호환성을 일반적으로 확보할 수 없게 된다. 이 점에 대해서 조금 설명한다.

대물 렌즈는 이상(理想)에 가까운 상태로 레이저 광을 집속할 필요가 있다. 그러한 레이저 광은 보호층 내에서 파면이 구면파가 되고, 보호층에 입사되기 전 공기 중에서는 구면파에서 변형된 파면을 갖는다. 왜냐하면 광 디스크의 정보면 상에 가상의 점광원이 있다고 한다면 보호층

내에서는 구면파가 형성되어 확대된다. 이 구면파가 보호층에서 공기 중으로 나오면 구면이 변형된 파면이 된다. 가상적 점광원에서 보호층의 표면에 이르기까지의 거리는 표면에 수직인 광축상의 광선과 주변의 광선이 서로 다르기 때문이다. 그 광로 차는 보호층의 두께에 비례하므로 공기 중의 구면파 변형량은 보호층이 두꺼워질수록 커진다. 역으로 스팟에 이상적인 레이저 광을 만들기 위해서는 공기 중 파면의 구면파로부터의 변형을 만들되 그 정도는 광이 집속되는 스팟의 위치에 점 광원을 두었을 때, 그 곳에서 퍼지는 광의 파면과 같아지도록 하면 된다.

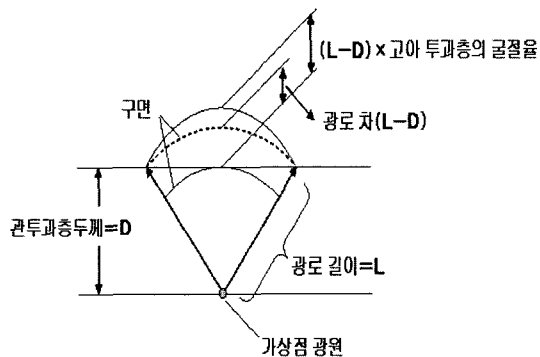


그림 2-3. 보호층 두께와 구면파 변형과의 관계

정보면상에 점 광원이 있다고 가상하면 앞으로 확대되는 구면파는 공기 중에 나올 때까지의 광로 길이가 공기와의 계면을 수직으로 나오는 광선 쪽이 비스듬하게 나오는 광선보다도 짧기 때문에 중심부근이 구면보다도 먼저 부풀어오르는 파면이 된다. 그 변형량은 광 투과층의 두께에 비례한다.

대물 렌즈는 이 변형된 파면을 고려한 광을 비추도록 설계한다. 보호층의 두께가 다르면 이상적인 변형량도 달라지므로 대물 렌즈의 설계도 달라지게 된다. 규격이 달라져도 기존 보호층의 두께를 유지하려는 것은 그 때문이다.

CD의 경우에는 호환성을 중시하여 1.2mm의

보호층 두께가 유지되었지만 DVD 규격이나 BD 규격의 책정에 있어서는 다른 접근방법이 이루어졌다. 보호층 두께를 유지하면 필요한 용량을 달성할 수 없기 때문이다. 그래서 지속적인 대용량화를 위해 보호층 두께의 최적화가 검토되었다.

디지털 기록에서는 에러 없이 읽을 수만 있다면 읽기 신호의 S/N비 열화에 대해서는 아날로그 기록만큼 신경 쓰지 않아도 된다. 또 디스크 지름이 12cm가 되면 디스크 제작도 30cm지름의 비디오 디스크와는 양상을 달리한다. 그래서 가능한 한 보호층의 두께를 얇게 하여 대물 렌즈의 NA의 값을 가능한 한 크게 하려는 시도가 거듭되었다.

광 디스크는 보호층을 통과하여 정보의 기록/재생이 이루어지므로 디스크 표면에 먼지가 부착되어도 먼지에는 어차피 포커스가 맞지 않으므로 그 영향을 잘 받지 않는다는 점이 큰 특징으로 되어왔다. 보호층을 얇게 하면 대물 렌즈의 NA를 크게 하는 것에는 유리하지만 디포커스 효과는 적어진다. 디지털 기록에서 필요한 디포커스 효과를 얻기 위해 필요한 보호층의 두께조건은 아날로그 기록시의 조건과는 다르므로 재검토가 필요하다.

보호층에 의한 디포커스 효과란 보호층 표면에 입사되는 광 빔의 단면적을 크게 하며, 이보다 작은 면적의 먼지의 영향을 큰 단면적 내에서 약화시키려는 것이다. 즉, 먼지의 영향이 미치는 범위는 광 빔의 단면적 범위로 확대되지만 신호의 열화는 완화되어 읽기 에러의 발생은 감소한다. 한편, 읽기 에러를 제거하는 수단으로서 에러 정정이라는 신호 처리가 일반적으로 시행된다. 이것은 큰 단위의 데이터를 하나의 단위로 연산하여 얻어지는 데이터를 에러 정정용 부가 데이터로서 기록하고 읽을 때에는 이 데이터 단위로 역 연산하여 부분적인 에러를 정정한다는 것이

다. 사진의 부분적인 결함을 주위의 화상에서 추정하여 수정하는 작업과 비슷하다. 이것은 부분적인 신호 결함의 영향을 큰 데이터 단위 안에서 희석시킴으로써, 에러가 나지 않도록 하고 있다고 볼 수 있다. 즉, 에러 정정에는 보호층에 의한 디포커스 효과를 전자적으로 시행하는 작용이 있다고도 할 수 있다. 이 점은 에러 정정이 보호층에 의한 디포커스 효과를 대신할 수가 있다는 것을 시사하고 있다.

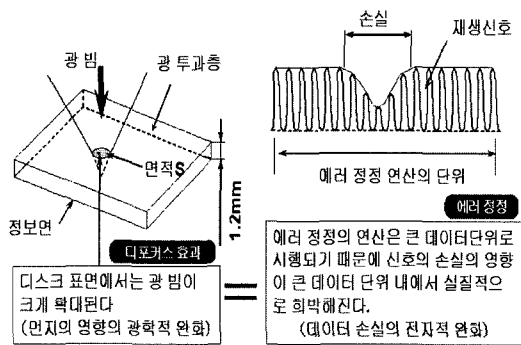


그림 2-4 표면의 먼지와 에러 정정 연산

광 투과층은 디포커스에 의해 먼지의 영향을 광학적으로 완화하는 효과를 보유하고 에러 정정 처리는 먼지 등에 의한 신호의 손실의 영향을 전자적으로 완화하는 효과를 보유한다. 모두 그 효과는 유사하다.

그렇다고 에러 정정 능력을 높게 한다고 해서 보호층의 두께를 거의 제로로 할 수는 없다. 에러 정정 연산의 경우 광 디스크에서는 1바이트를 연산의 최소 단위로 하기 때문에 1비트 에러와 같은 작은 것도 실질적으로는 1바이트 에러로 확대되기 때문이다. 따라서 수 비트 정도의 에러밖에 발생하지 않는 작은 먼지에 대해서는 에러가 발생하지 않도록 디포커스 한다. 그것을 위해서 필요한 보호층의 두께는 수 10 $\mu$ m 정도다.

DVD 규격을 책정할 때에 보호층의 두께는 0.6mm까지 얇게 했다. 이 이상으로 얇게 하지

못한 것은 당시 디스크 제조 설비로는 이 두께까지 제조 가능하였으며 이것을 2장 붙이면 CD와 같은 두께가 되어 같은 정도의 기계 강도를 얻을 수 있었기 때문이다.

BD에서는 BS 디지털 HD 방송의 비트 스트림을 2시간 녹화하는데 필요한 용량(23GB)을 실현하는 것을 필수 조건으로 하여 보호층의 두께를 재 검토했다.

당연히 우선 처음에 DVD와의 호환성을 고려하여 0.6mm의 보호층에서 검토했다. 그러나 파장을 DVD의 적색(650nm)에서 청자색(405nm)으로 변경한 것만으로는 용량이 12GB 정도밖에 되지 않는다. 대물 렌즈의 NA를 최대한 크게 해도 0.6mm의 보호층에서는 0.65정도가 한계이고, 그 경우에도 용량은 15GB 정도에 그쳤다. 또한 PRML 등의 최신 읽기 기술을 같이 쓴다 해도 23GB의 기록 용량에는 크게 못 미쳤다. 또 가이드 홈의 안쪽 바닥과 바깥 위쪽의 양쪽 모두에 기록하고, 크로스 토크의 영향을 억제하면서 트랙 피치를 줄이는 방법도 검토했지만 광 스팟이 작아지면 열 전파의 영향이 상대적으로 커지고 기록시 열 전파의 영향으로 인접 트랙의 정보를 소거해 버리는 문제를 극복할 수 없었다.

그래서 2층 기록을 이용하여 이 장벽을 극복해 보려 했다. 그러나 NA의 값이 0.65로 좁혀진 스팟 정도에서는 2층 기록을 위해 100mW가 넘는 출력의 청자색 레이저가 필요하다는 것을 알았다. 따라서 지금 당장 사용할 수 있는 청자색 레이저로 2층 기록을 실현하기 위해서는 보호층 두께를 더욱 얇게 하고 NA의 값을 크게 해야 한다.

용량 부족은 차치하고라도, 보호층 두께를 0.6mm로 하면 디스크의 기울기에 대한 허용량(틸트 허용범위(마진))을  $\pm 0.3$ 도 정도 밖에 확보할 수 없다고 하는 문제도 있었다. 파장이 짧아

지만 그것에 반비례하여 수차가 커지기 때문이다. 디스크와 광 픽업 (OPU) 의 상대 각도 오차가 이 틸트 허용범위(마진) 이하가 되도록 디스크와 장치를 양산하는 것은 극히 어려워지므로 이 오차를 보정하도록 OPU를 조정하는 틸트 서보가 검토되었다. 그러나 디스크의 변형으로 인해 초래되는 각도 오차의 변동에 디스크 회전과 같은 속도로 따라갈 수 없고 `각도 오차의 검출 정도에도 한계가 있으므로 틸트 서보로 각도 오차의 합이 이 틸트 허용범위(마진) 이하가 되도록 보장할 수 없어 이것도 단념했다.

BD 보호층 두께의 책정에 있어서는 0.6mm로 했을 때 상기의 모든 과제를 해결하거나 보호층 두께를 얇게 하는 것, 둘 중에서 선택해야만 한다. 결국, 전자의 해결책을 발견할 수 없어 어쩔 수 없이 후자를 선택했다.

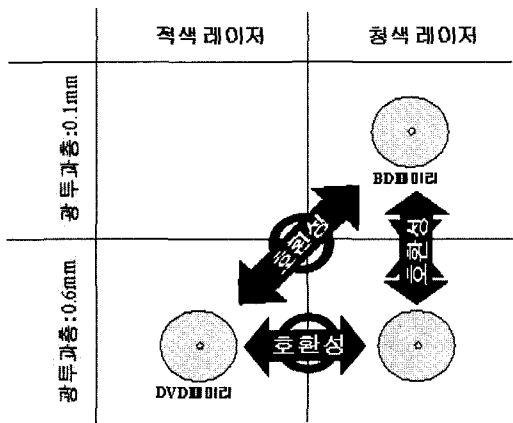


그림 2-5 DVD 와 BD 의 광 보호(투과)층 두께

앞에서도 서술한 바와 같이 보호층으로서 필요한 두께는 수 10 $\mu$ m 이상이며 생산 용이성과 장래 값싼 프로세스의 가능성 등 양쪽을 감안하여 보호층 100 $\mu$ m를 기본으로 했다. 보호층 두께를 100 $\mu$ m로 함으로써, 대물 렌즈의 NA를 0.85까지 높일 수 있게 되었다. 이것으로 25GB의 용량으로 DVD와 동등한 틸트 허용범위(마진)

이 얻어지는 것이 확인되었다.

이상 설명한 바와 같이 보호층의 두께는 그때 마다 필요하게 되는 용량을 실현하기 위해 불가피하게 바뀌었다. 그래서 항상 문제가 되는 것이 기존 규격과의 호환성이다. 가장 확실한 방법은 대물 렌즈를 바꾸는 것이다. DVD의 경우에는 하나의 대물 렌즈를 이용한 CD와 호환 방식도 많이 제안되었다. CD-R 디스크를 읽기 위해 파장 780nm의 적외선 레이저를 탑재하는 것이 필수이며, DVD용 적색 레이저(파장 650nm)와의 파장 차이를 이용하는 것이다. CD에서는 대물 렌즈의 NA가 0.45로 DVD의 0.6보다도 작으므로 대물 렌즈 안쪽의 NA 0.45 해당 부분만 파장 780nm의 광이 투과하며, 또한 대물 렌즈가 보호층 두께 1.2mm에 최적이 되도록 작용하는, 파장 의존성이 강한 광학 소자를 도입했다. 이렇게 해서 대물 렌즈의 NA 0.45의 범위에서 보호층 두께의 차이 0.6mm를 흡수했다.

BD에서도 DVD와 호환성을 확보하기 위해서는 적색 레이저의 탑재가 필요하다. 청자색 레이저에서는 DVD의 2층 디스크를 읽을 수 없기 때문이다. 그래서 파장 차이를 이용하여 NA 0.6의 범위에서 보호층 두께의 차이 0.5mm를 흡수하면 BD/DVD의 호환을 하나의 대물 렌즈로 달성할 수 있게 된다. DVD/CD의 호환 조건보다도 엄격한 조건이기는 하지만 불가능한 조건은 아니다. 실제로 2002년의 CE쇼에서는 하나의 대물 렌즈로 BD/DVD의 호환을 실현한 시험 제작 데모가 시행되었다. 물론 두 개의 대물 렌즈를 교체하여 BD/DVD 호환은 확실하게 실현할 수 있다.

### 3. Blu-ray disc 규격

#### 3.1 물리 규격

Blu-ray 디스크 시스템은 780nm CD, 650nm DVD에 이어 '가시광 레이저를 이용한 광 디스크' 최후의 시스템일 것이다. 이러한 점 때문에 광 디스크의 기본 항목에 대한 검토를 시작했을 때에 아직 개발이 완료되지 않은 항목들도 적극 채용하여 개발을 시작했다. 즉,

최단 파장 --400nm

최대 NA---0.85

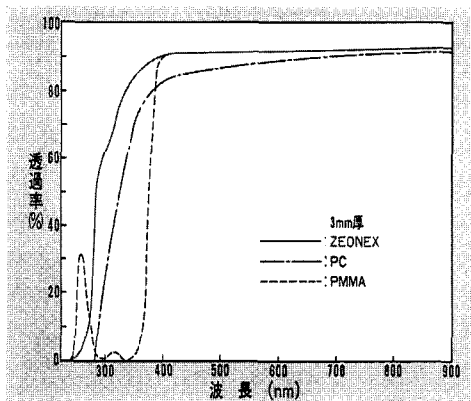
보호층 두께 --0.1mm

이다.

파장은 청자색의 400nm. 이 보다 단파장인 레이저(자외선)도 검토된 적이 있지만 일반적으로는 400nm 보다 짧은 파장에서는 기관 투과층의 플라스틱 내성 문제가 있기 때문에 레이저의 최단 파장은 400nm를 선택했다.

제조 시 파장 변화도 고려할 필요가 있지만 400nm보다 단파장이 되는 경우는 없도록 변동폭을 규정하고 있다. 지금까지의 780nm, 650nm에서는 파장의 온도 의존성이 있고 (780nm에서는 0.3nm/deg, 650nm에서는 0.25nm/deg 정도),

(광디스크용 플라스틱의 자외 영역에 대한 내성)



그림에 표시한 바와 같이 광디스크 혹은 광학 부품에 사용되는 플라스틱은 파장이 400nm 보다 짧아지면 투과율이 급격하게 나빠지는 경우가 많다. 더욱이 햇빛에 데인 듯한 현상을 일으켜 열화 되는 경우도 있다.

특히 색소계처럼 기록 감도가 파장 의존성을 가지는 기록 막에 기록할 때는 여러 가지 개발이 필요했지만 GaN 400nm 레이저는 780nm, 650nm에 비해 파장의 온도 의존성이 상당히 작은 듯하다.

대물렌즈의 NA는 파장과 함께 집광 빔의 직경을 다음 식으로 정의한다.

$$\text{빔 직경} = \alpha \cdot \lambda / \text{NA}$$

$$\lambda = \text{파장 } \alpha \text{는 정수}$$

이렇게 NA는 큰 쪽이 (공기 중에서는 1.0까지만) 빔 직경이 작다. CD의 0.45, DVD의 0.6는 그때 시기에서 렌즈 양산이 가능했던 가장 큰 값이다. Blu-ray에서는 당초 NA가 0.6급의 제조 기술로 양산할 수 있는 렌즈를 2장 겹쳐 0.85 값의 렌즈를 만들어냈다. 렌즈가 디스크 표면과 떨어져서 동작하는 거리인 Working Distance는 0.14mm 정도밖에 되지 않아 CD, DVD와 비교하면 디스크에 상당히 가까이 근접한 렌즈가 디스크에 부딪히지 않을까 하는 우려가 있다. 그러나 렌즈의 작동 거리에서 판단하여 절대적으로 렌즈와 디스크가 충돌하지 않는 설계가 가능했던 것은 4.5mm의 큰 렌즈를 사용했던 CD의 극히 초기뿐이었고 지금과 같은 소형의 설계에서는 CD나 DVD나 모두 렌즈와 디스크는 충돌할 수 있다. 물론 working Distance가 작은 것이 확률이 높다는 것을 부정할 수는 없다. 그러나 하드웨어가 위험을 미리 알아차려 보호 회로를 작동 시켜 사전에 방지하거나 만일에 대비하여 렌즈에 댐퍼를 설치하는 등의 연구를 하는 것도 가능하다. 더욱이 최근 JVC사 등에서 0.5mm 정도의 Working Distance를 가지는 단일 렌즈가 설계되어 시험 제작이 시작되었다. 이 정도 거리가 가능하다면 실용상 문제는 없을 것이다.

이와 같이 큰 NA의 값을 취함으로써 이후에 설명될 NA의 제곱에 해당하는 Focus 방향의 허

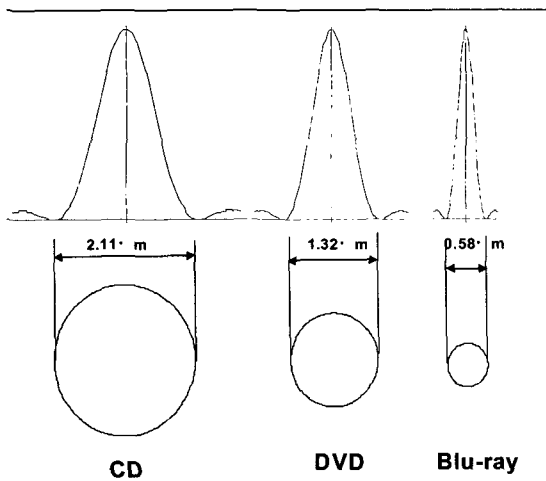


용범위(마진), 네 제곱에 해당하는 광 투과층 두께 방향의 허용범위(마진)을 고려할 필요가 있다. NA가 큰 것은 광 기록에 유리하게 작용한다. 에너지 집중 때문인데 간단하게 말하면 650nm 파장, 0.6 NA의 DVD 시스템에 비해 400nm 파장, 0.85 NA의 Blu-ray 시스템의 기록 파워는 1/4면 된다.

이것은 다층 기록이나 고속 기록을 생각할 경우에 기록 파워 면에서 여유가 생기게 된다.

광 투과층의 두께

앞 전에 NA의 세제곱을 언급하지 않은 것은 이유가 있다. 광 디스크에서는 이 세제곱의 요소



CD, DVD와 Blu-ray 디스크상의 집광 시뮬 지름과 강도 분포를 비교하면 그림과 같이 된다. 이 지름은 Rim 조건을 100%로 했을 때 최초의 링 지름으로 비교한 것이다. 이 파형의 적분 값이 광 미디어에 기록하는 에너지가 되기 때문에 대물 렌즈에는 그 에너지를 넣으면 된다. 만일 미디어가 같은 에너지로 기록이 시작된다고 가정하면, 지름이 작은 쪽이 (밀도가 높은 쪽이) 그 만큼, 레이저의 파워가 작아도 된다. CD, DVD가 같은 기록 속도로 수 십 mW 필요했는데 이것이 Blu-ray가 5mW 정도로 기록할 수 있는 이유 중 하나다.

는 소위 어긋남(Skew)라고 불리는, 디스크 면과 광 픽업 광축이 직교에서 얼마만큼 벌어질 수 있는지의 허용 범위에 영향을 미친다. Blu-ray Disc에서는 이 양을 DVD와 같은 값인  $\pm 0.75^\circ$  정도로 정했다. 이것이 Blu-ray의 광투과층이 100m인 이유다.

앞에서 서술된 바와 같이 Blu-ray의 한가지 특징으로 처음부터 규격으로서 다층 디스크에 대응할 수 있도록 설계되어 있다.

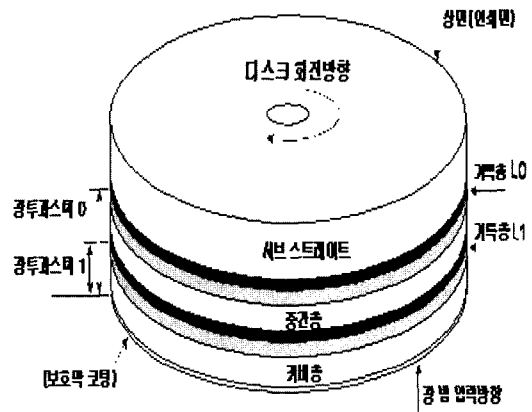


그림 3-1 이층 디스크

이 경우, 그림3-1 에 표시하는 바와 같이 LO 면을 기준으로 25m정도의 중간 층을 끼워 L1이 위치하도록 되어 있고, L1층의 광 투과층의 두께는 75m정도다. 이렇게 Blu-ray의 기준 두께는 100m이고 다층 구조가 되어도 LO가 기준면이며, 100m 광 투과층의 두께라는 이 견해에는 변함이 없다.

이렇게 파장, NA, 광 투과층의 두께를 CD, DVD와 다른 값을 채용하고 있기 때문에 CD, DVD와의 기록 혹은 재생 호환을 필요로 하는 시스템에는 복합 픽업을 개발 설계할 필요가 있다. 이것은 DVD의 기록 재생 장치 설계 시에 CD를 어떻게 쓰고 읽는지 하는 것과 같은 문제인데, 이미 몇몇 성과가 발표되고 있다.

Groove Format

Blu-ray 디스크의 물리적인 구조는 그림 3-2에 표시하는 바와 같은 Groove 기록이다.

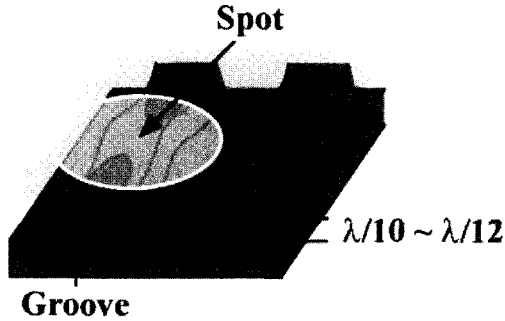


그림 3-2 Groove 기록

이것에 대해서는 여러 가지 주장과 검토 결과가 있는데 이것도 DVD 기록 규격이 여러 가지로 정의된 한 원인이 되었을 것이다. 다행히 이번 Blu-ray의 개발에 참여하고 있는 회사 중에 DVD 기록의 3방식을 취급하는 회사가 모두 포함되어 있어 또 한번 모든 검토를 시행, 이번에는 3방식의 좋은 점을 취합하여 하나의 물리 규격으로 집약할 수 있었다. 더욱이 이번에는 가장 어려운 기록 소거가 가능한 시스템부터 만들려고 했기 때문에, 먼저 ROM이 있고 그것에 맞추지 않으면 안 되었던 CD, DVD 때와 같은 제약이 없었던 것도 도움이 되었다. Blu-ray의 시스템의 목표가 민생 기기나 컴퓨터 주변 기기로도 사용할 수 있도록 하는 것은 당연했다. 이때문에 데이터의 단위 배열 방식은 DVD-RAM와 같은 Block간에 Gap을 갖는 구조를 취했다. 또 과거, 그랬던 것과 같이 ROM 및 R의 미디어를 고려하여 이 세가지 기록 매체에 가장 간단하게 대응할 수 있도록 Land/Groove 기록이 아닌, Groove 기록 방식을 취했다. 이것은 CD-R, RW 및 DVD-RW, +RW가 가지고 있던 개념이다. 트랙 피치가 다른 디스크를 하나의 규격 패밀리로서 혼재 시킨 것은 광 픽업의 설

계에 자유도를 없애버리는 것이며 이러한 점도 그루브 기록을 선택한 이유 중 하나였다. 처음에는 0.32m의 트랙 피치 (groove 자체는 이 절반 정도의 정도로 형성되지 않으면 안 된다)는 마스터링이 매우 어렵다고 생각했다. 그래도 앞으로 피트를 요철로 형성하는 ROM 형태의 디스크도 이 정도로 만들 필요가 있어 개발이 추진되었다. 그 결과 처음에는 전자선 빔(EB)에 의한 마스터링이 가능하게 되었으며 이어서 Deep UV 파장으로 Blu-ray의 25GB급 디스크 제작을 위한 마스터링이 가능하게 되었다. 더욱이, 400nm Blue Laser 파장의 빛만 이용할 수 있는 마스터링 기술까지 개발되어, Groove 기록의 모든 장벽이 제거되었다. 이 밀도에서의 사출 기술도 모두 확립되어 있다.

더욱이, 0.85라고 하는 높은 NA값을 고려하여, On groove와 In groove 중에서 On groove로 결정했다. 이것은 잘 설명할 수는 없지만 그림에 표시하는 바와 같은 시뮬레이션 결과와 실제 실험을 거쳐 On groove로 결정했다.

그림 3-3 과 같이 이러한 규격을 가진 디스크에서 In groove 기록에서는 기록 빔의 파워가 반경 방향으로 빠져 나간다는 것을 알 수 있다. 트랙 피치가 좁아지면 On Groove와 In Groove의 양쪽으로 기록하는 랜드/그루브 기록 방식이 곤란하게 되는 원인이 되기도 한다.

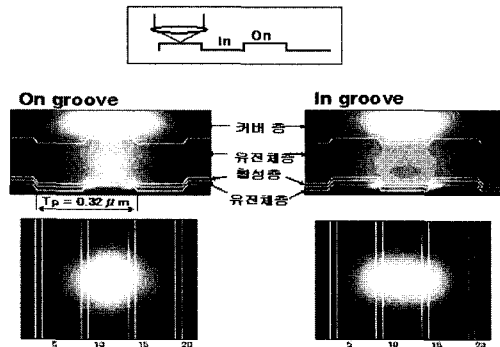


그림 3-3 두 방식의 비교

R(Record once) 미디어는 On groove 기록으로 만들 수 있으나 당초 불안했지만, 그러한 구조에 대응할 수 있는 R의 미디어가 모두 개발되어 있어 On groove에서도 CD, DVD와 같은 파생 규격으로의 전개가 가능하다.

#### 어드레스 방식

Groove 기록으로 했을 때의 블랭크 어드레스의 방식은 wobble 만으로 형성된다. 이것은 +RW에 적용된 아이디어에 가깝다. 피트로 넣는 것도 검토되었지만 그만큼의 헤더 분을 확보하기 위해 기록 밀도를 올리지 않으면 안 되는 점과, 다층 디스크로 했을 때의 피트 어드레스에 의한 다른 층으로의 기록의 영향이 큰 점을 고려하여 피트 없는 어드레스 방식을 취했다. 지름 방향으로 Wobble 시키는 변조 방식은 MSK(minimum shift keying)을 기본으로 하고 있고 64K 바이트의 블록으로 규격화되고 있다. Wobble의 기본 주파수는 공간적으로 5 $\mu$ m 정도이고 정현파가 MSK의 규칙에 따라 변조되는 위치에 맞춰 어드레스 정보의 0과 1을 표현하고 있다. MSK만으로는 변조 에너지는 크지만 정보가 국부적으로 존재 하기 때문에 결함의 영향을 받기 쉽다. 이 때문에 MSK에 한층 더 다중 하는 형태로 STW (Saw Tooth Wobble) 라는 신호가 이용되고 있다. 이것은 Wobble의 모든 정현파에 2차 고주파를 부가하는 것으로, 어드레스 데이터의 0과 1을, 부가하는 2차 고주파의 극성에 대응시키는 것이다. STW의 신호 에너지는 MSK의 것과는 달리 공간적으로 분포되어 있어 적분에 의해 검출하는 방법을 취하기 때문에 부분적인 결함에 대해서 내성이 있다. Blu-ray의 어드레스는 MSK와 STW를 둘 다 이용함으로써 보다 확실한 검출을 할 수 있다.

#### 에러 정정 방식

에러 정정 방식은 100m 광 투과층 두께의 에러 분포에 맞춰 설계되었다. 이 작업은 실제 디스크 구조를 분진 시험을 거쳐 재생했을 때의 에러 분포를 통계 처리하는 것과 그 분포를 모델화하는 것부터 시작했다. 결과적으로 도출된 것은 먼지나 스크래치에 의한 짧은 버스트 에러 및 시시각각으로 발생하는 긴 버스트 에러에 잘 대응할 수 있는 구조를 갖춘 Picket Code 라는 것이다. 이것은 64K바이트 크기의 Reed-Solomon Code의 일종인 Long Distance Code에 인터리브 정도를 높이고, 다시 BIS 라는 버스트 인디케이터를 부가한 것이다.

#### 변조 방식

트랙에 따라 기록되는 주 채널의 변조 방식은 1-7PP (Parity preserve/Prohibit RMTR)라고 한다. 소위 d=1의 부호이다. CD, DVD에 이용된 d=2와 비교했지만 이번에는 기록 가능 디스크부터 적용하는 것을 전제로 검토한 결과, 그림 3-4에 표시하는 바와 같이 검출 Window의 폭이 넓기 때문인 점과 고속 기록 시에 channel clock이 낮아도 되는 점등의 이유로 이번에는 d=1을 채용했다.

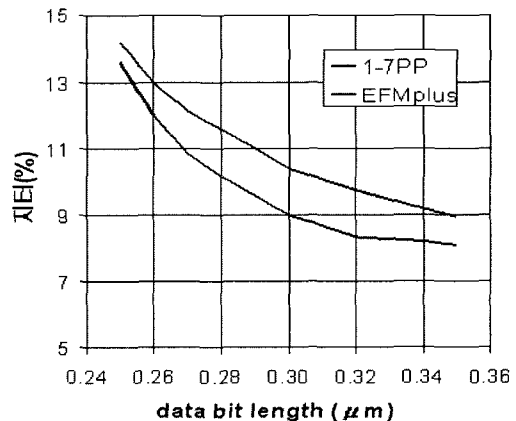


그림 3-4 변조 방식 비교

이 데이터는 이전에 파장이 650nm에서 실험했을 때, 가로축은 Blu-ray의 밀도로 변환되지 않으면 안되지만 상변화 막에 기록 재생을 시행했을 때의 경향을 나타낸 것이다.  $d=1$ 의 채용은 Limit Equalizer로 대표되는 Non linear Equalizer 및 PRML 검출 효과를 더욱더 높일 수 있다는 것을 의미하는데 Blu-ray에서는 CD, DVD에 비해 이러한 신호 처리가 더욱 중요하다.  $d=2$ 에 비해 최소 피트가 짧기 때문에 처음에는 ROM의 피트를 마스터링하여 요철로 형성하는 것이 우려되었지만 2.5GB 정도라면 마스터링 기술의 발달로 문제의 해결이 가능했다. Parity Preserve는 변조되어진 신호의 DC 밸런스가 변조한 후, 0, 1열을 보지 않아도 변조 전 데이터 열로 판단할 수 있다는 것을 의미하여 하드웨어의 부담을 줄이는 데 효과적이다. Prohibit RMTR (Repeated Minimum Transition Run length)는 최소 길이(변조 후에 101로 표시되는 것)가 계속 이어지는 것을 방지하여 1-7PP에서 7개 이상 계속되지 않도록 제한되어 있다.

#### 기록 미디어와 Write Strategy

Blu-ray는 기록 미디어에 상변화 막을 이용하고 있다. 한 마디로 상변화 막이라고 해도 크게 나눠, 주변의 예에서는 DVD-RAM에 이용되고 있는 GST (GeSbTe 화학 양론 조성) 이라는 것과 CD-RW, DVD-RW, +RW에 이용되고 있는 Eutectic (공정 조성) 이라는 두 개의 타입이 있다. 각각, 반복 기록 특성 및 고속 기록 등의 항목에서 각각의 특징을 갖고 있고, Blu-ray에서는 이 양쪽에 적용할 수 있도록 기록 패턴(Write Strategy)을 연구할 때에 두 가지 미디어 각각에 개선을 더해 소정의 밀도의 디스크에 대해 같은 종류의 기록 패턴을 사용하여 거의 동일한 파워 범위로 기록할 수 있도록 했다. 기록 패턴을 그림 3-5에 표시한다. 최소 피트 길이

인 채널 클럭 2개 분의 피트를 기록하는 파형과 길이에 대해 5개 분 길이의 피트를 기록하기 위한 파형이다.

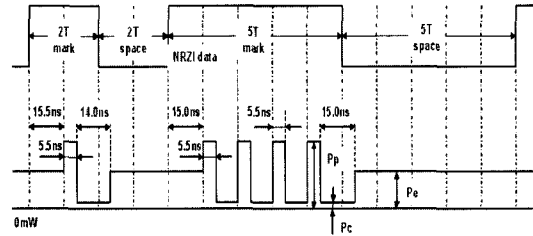


그림 3-5 기록 파형의 일예

그리고 BD-RE에서는 36Mbps에서의 최대 기록 파워는 5.2mW이다. (2층 디스크는 10.4mW) 이는 앞에서 서술한 바와 같이 NA가 높기 때문에 36Mbps에서도 이 정도의 파워면 된다고 할 수 있다.

#### 3.2 BD의 파일, 어플리케이션 규격

BD-RE 규격은 Part1 (물리) `Part2 (파일 시스템) `Part3 (어플리케이션) 등 3부로 구성되어 있다. 여기에서는 어플리케이션과 파일 시스템에 관해서 그 개요를 설명한다.

우선, 어플리케이션 규격에 대해서 설명한다. 이 규격에서는 기록용 스트림 형식으로서 MPEG-2 TS (Transport Stream)를 채용하고 있다. 디지털 방송을 기록할 때에는 방송된 비트 스트림을 그 형태로 기록하고, 아날로그 입력 신호는 MPEG-2로 압축 후 `MPEG-2 TS로 변환하여 기록한다. 더욱이 랜덤 액세스 미디어만의 검색성 향상 및 논리니어 편집 기능을 실현하고 있다.

어플리케이션 층의 모든 데이터는 파일로서 기록된다. 각 파일은 데이터의 종류에 따라서 그림 3-6에 표시하는 바와 같이 디렉토리 구조로 관리된다.

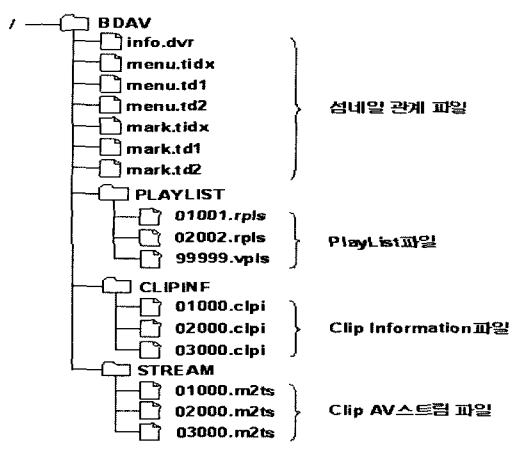


그림 3-6 BD-RE 어플리케이션 디렉토리 구조

다음 주요 파일의 개요에 대해서 설명한다.

Clip AV스트림 파일은 MPEG-2 TS에 대해서 재생 시 필요하게 되는 타이밍 정보를 부가하여 기록한 파일이다.

Clip Information파일은 Clip AV스트림 파일의 속성 정보 및 랜덤 액세스용의 정보를 담고 있으며, MPEG-2 TS를 임의의 위치에서 재생 혹은 고속 재생할 때 필요한 파일이다.

Playlist 파일은 사용자 재생 프로그램을 관리하는 파일이다. 그림3-7에 표시하는 바와 같이, Playlist파일은 어느 Clip AV스트림 파일의 어느 구간을 재생할 것인가 하는 재생 순서 정보 및 임의의 장면을 그 후부터 참조하기 위한 마크 정보 등을 저장하고 있다.

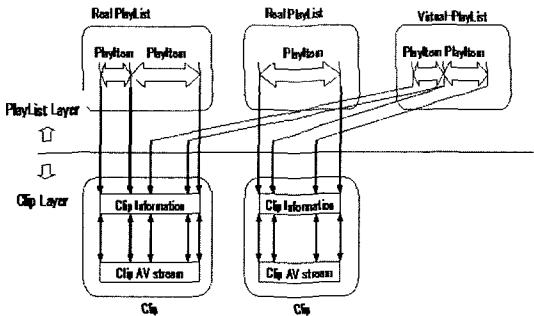


그림 3-7 어플리케이션 데이터 구조

섬네일 관련 파일은 각 Playlist파일의 대표 화상 및 마크 위치의 축소 화상을 정리 관리하고 있다. 이들을 사용하여 사용자가 디스크의 프로그램 내용을 이해하기 쉽고 다루기 편한 메뉴 구성의 실현이 가능하게 되었다.

다음에 파일 시스템 규격에 대해서 설명한다. 그 주요 특징은 다음 3가지 점과 같다.

- (1) 디스크 삽입에서 재생까지의 대기 시간을 줄이기 위한 각종 관리정보를 정리 기록하는 기능
- (2) 신뢰성 향상을 위한 파일 이중 기록 기능
- (3) 국소적인 수정 반복에 의한 매체 열화를 완화하는 기능

마지막으로 현재 사양을 책정 중인 BD-ROM에 대해서 약간 언급해둔다.

BD-ROM에서는 영화 산업에서의 요구를 반영시키면서 고도의 쌍방향성과 급속도로 보급되고 있는 브로드밴드 서비스와의 연계를 꾀한 사양으로 할 예정이다. BD-ROM과 브로드밴드 서비스를 연결시켜 사용자의 영화 시청 형태에 자유도를 부여한다. 예를 들면 자막을 다운로드하는 기능으로 ROM 상에 기록되어 있는 언어 이외의 자막으로 영화 콘텐츠를 즐길 수 있게 된다.

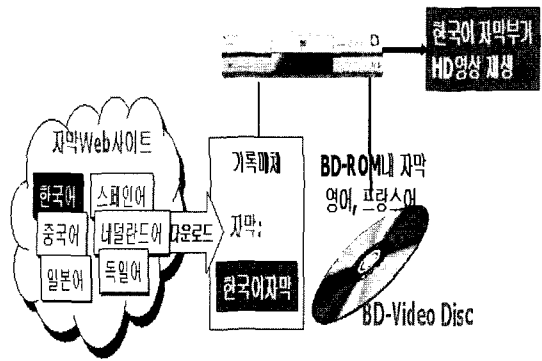


그림 3-8 브로드밴드 네트워크를 이용한 어플리케이션 일예

### 3.3 주요 BD의 사양

이상, 서술해온 것을 정리하면 표1과 같이 된다.

표 1. BD의 주요 패러미터

기록용량	23.3/25/27GB(단층)
레이저 파장	405nm
렌즈 개구 수	0.85
데이터 전송 레이트	36Mbps
디스크 바깥 지름	120mm
디스크 두께	1.2mm
디스크 안 지름	15mm
기록 방식	상변화 기록
변조 방식	1-7PP
트랙 형식	그루브 기록
어드레스 방식	위블 방식
영상 기록 방식	MPEG-2 비디오
음성 기록 방식	AC3 'MPEG-1-Layer2' ' 기타
영상 음성 다중화 방식	MPEG-2TS

BD규격의 특징을 다음과 같이 간단하게 정리했다.

- \* BD에서는 청색 레이저와 고 NA의 대물 렌즈를 채용하여, 이것으로 적색 레이저를 사용하는 DVD의 5배 기록 밀도를 실현하고 있다.
- \* BD에서 특징적인 0.1mm의 박형 광 투과 보호층은 고NA 대물 렌즈에서도 디스크의 기울기에 대해서 종래와 같은 허용 값을 실현할 수 있도록 규정되어 있다.
- \* 종래의 디스크에 비해 박형의 보호막이기는 하지만 종래보다도 강력한 에러 정정 방식을 채용하고 '박형화로' 약점을 커버하고 있다.
- \* BD에서는 앞으로 더욱 큰 용량화를 위해 2층 디스크를 규정하고 있다. 즉 용량은 다시 2배가 되어 앞으로 광범위 어플리케이션으로의 응용이 가능하게 된다.

- \* BD는 종래의 CD `DVD와 같은 디스크 외형으로 채킹 방식 등 기존 디스크와의 기계적인 호환성을 취하기 쉽도록 고려 되고 있다.
  - \* 신호 변조 방식은 (1-7)변조 방식이다. 신호 성분의 직류 성분을 억제하기 위해 새롭게 1-7PP라는 방식이 개발되고 있다.
  - \* 종래의 CD `DVD와 같이 `BD도 재생 전용형 (ROM), 한번 기록형 (R), 재기록 가능형(RE)이 모두 갖춰지도록 계획되어 있고 우선은 재기록 가능한 RE로 규격은 규정 되었지만 이들 세 가지 형태로 호환성이 취해 지도록 규격이 규정되어 있다.
  - \* 트랙 형식에 그루브 기록을 선택하고 있는 것도 장래의 호환성을 고려한 것이다.
  - \* 어드레스 방식에서는 그루브를 꼬불꼬불하게 만든 위블 방식으로 되어 있지만 2종류의 변조를 동시에 걸어, 극히 높은 신뢰성을 실현하고 있다. 데이터의 에러 정정과 같이, 여기에서도 BD가 안정된 동작을 할 수 있는 구조가 도입되어 있다.
  - \* 콘텐츠의 호환성 유지 관점에서 BD에서는 MPEG-2을 영상 기록 방식으로 하고 있다.
  - \* 음성 기록 방식도 현재 널리 사용되고 있는 방식을 채용하고 있다.
  - \* BD에서는 MPEG-2 트랜스포트 스트림 기록 방식을 채용하여 디지털 방송을 그대로 기록한 후, 원 데이터를 그대로 둔 상태에서, 재생용 데이터만을 수정하는 것만으로 유연한 편집이 가능하게 되었다. 또 당연히 화상의 고속 검색이 쉬운 구조로 만들어져 있다.
- 이렇게 BD의 주요 사양은 시대의 요청과 호환성, 장래의 확장성을 고려하여 종래 기술과 새로운 기술을 최선의 형태로 균형을 이루도록 규정되어 있다.

#### 4. 2층 디스크

DVD에서는 2층 재생 전용 (ROM) 디스크가 실용화되고 있지만, Blu-ray(BD)에서는 재기록 가능한 디스크에 대해서도 2층 대응 규격을 탑재하고 있다. 2층 디스크의 실현에는 기록층의 초 박막화 및 조립 공법 등, 많은 신기술이 필요하다. 1994년 이후, 계속적으로 시행되어온 연구 개발<sup>1),2)</sup>의 성과가 2층BD로서 결실을 맺었다고 할 수 있다. BD에서는 46.6/50/ 54GB (1층 당 23.3/25/27GB)의 대 기록 용량이 실현되어, HDTV화상이 4시간 이상, SDTV의 경우 20시간 이상 녹화 가능하다. 또한 한쪽 면에서 기록 재생이 가능하므로 `도중에 장치에서 디스크를 꺼내 뒤집는 수고를 할 필요가 없어 사용자가 편리하게 사용할 수 있게 되어 있다.

2층 BD디스크의 간단한 구성도를 그림4-1에 표시한다.

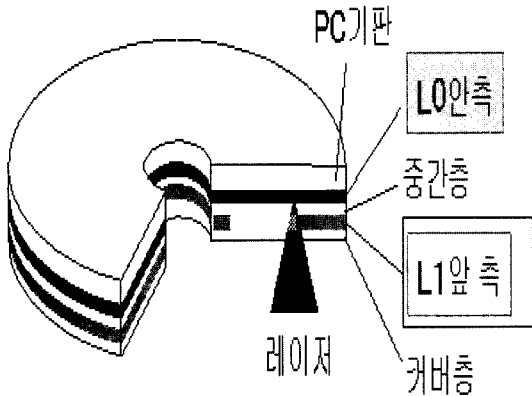


그림4-1. 2층BD디스크

BD규격에 있어서는 레이저 입사 면에서 100µm의 깊이에 있는 안쪽 정보 기록층을 L0층, 75µm 앞의 위치에 있는 정보 기록층을 L1층으로 정의하고 있다. 기록 매체로서는 DVD-RAM 및 DVD-RW에서 사용되었던 상변화 재료가 이용되고 있다.

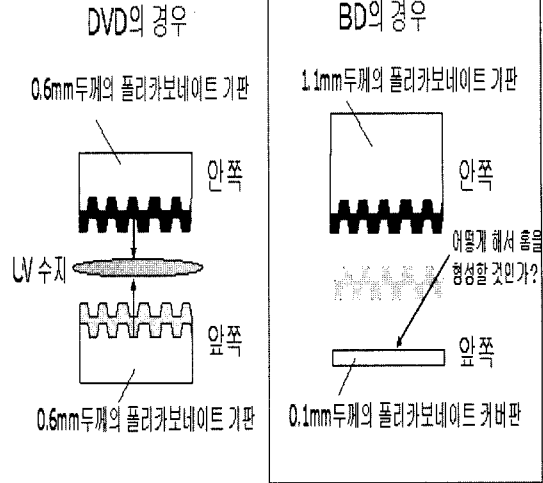


그림4-2. DVD와BD의 2층 디스크 구성

그림4-2에 DVD(ROM)와 BD의 2층 디스크의 구성을 비교한다. DVD에서는 2장의 기판에 각각 안쪽 층과 앞쪽 층에 막을 형성하여 UV경화성 수지를 통해 접착하고 있다. 각 기판이 0.6mm으로 두껍기 때문에, 독립적으로 트레이킹용 가이드 홈을 형성할 수 있다.

한편, BD에서는 트레이킹용 가이드 홈을 보유하는 1.1mm두께의 폴리커 기판상에 다층 박막에서 이루어지는 안쪽 층을 형성하고, 그 위에 수지로 이루어진 두께 25µm의 중간층을 형성한다. 그 위에서 바로 앞 층이 형성되며, 마지막으로 두께 75µm의 수지로 이루어지는 커버층이 형성되지만 얇기 때문에 커버층에 가이드 홈을 형성할 수 없다. BD에서는 이 가이드 홈의 형성 방법이 제1의 기술 포인트다. 형성 방법으로서 중간층 층에 스탬프와 같이 바로 앞 층용 가이드 홈을 전사하는 방법이 제안되고 있다<sup>3)</sup>

2층BD디스크에서의 제2 기술 포인트는 반투명한 바로 앞의 L1기록층이다. L1층으로서 요구되는 조건으로는 다음을 들 수 있다.

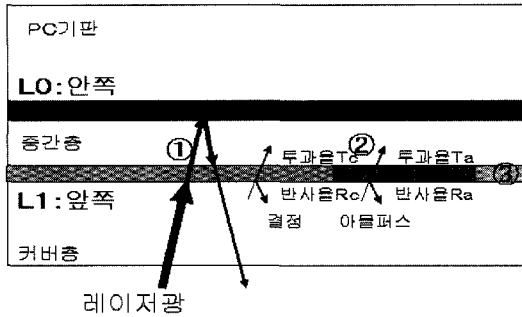


그림4-3. 2층 디스크L1층의 광학 특성상의 필요조건 :  $T_a \sim T_c > 50\%$  `Rc-Ra은 크다

① 높은 투과율

2층 디스크에서는 안쪽 기록 층에는 앞 쪽의 기록층을 통해 기록 재생을 시행하기 때문에 앞쪽의 기록층은 충분히 큰 투과율을 갖추는 것이 중요하다. 그러나 앞쪽의 기록층 자체에서도 기록 재생이 필요하므로 L0/L1간에서 빛을 분배한다는 의미에서50%가 목표로 되어 있다.

② 기록 전후에 투과율이 변동하지 않는 구성

BD는 랜덤 액세스 기록을 전제로 하고 있기 때문에 바로 앞의 층에 기록이 끝난 트랙과 미 기록 트랙이 혼재 된 상태에서 안쪽 층에 기록/재생하는 경우가 있다. 앞쪽 기록층의 기록 상태에 따라서 투과율이 다르면 투과 광에 광량에 차이가 생겨 안쪽 층의 기록 재생에 악영향이 미치게 된다. 따라서 기록/미기록 상태간에 투과율에 변동이 발생하지 않는 것이 바람직하다. 기록막 재료의 선택 및 다층막의 두께 설계가 중요하게 된다.

③ 냉각 속도와 결정화 속도의 균형

상변화 재료에서는 기록시에 고파워의 레이저로 가열 용융한 후 급격한 냉각으로 아몰퍼스화 하고 소거 시에는 중간 정도의 파워에서의 가

열로 결정화하고 있다. 앞쪽 기록층을 반 투명층으로 하기 위해서는 반사층 및 기록층을 종래보다 얇게 하지 않으면 안되지만, 전자에 대해서는 아몰퍼스화를 시행하기 위한 냉각 속도 저하, 후자에 대해서는 결정화 속도가 저하되는 문제가 발생한다.

마지막으로 안쪽 층에 대해서는 개발/생산의 효율을 고려하면 단층 디스크와 같이 하는 것이 바람직하다.

이상의 관점을 고려하면서 2층 디스크의 개발 및 BD규격화가 추진되었다. 그림 4-4에 개발 완료된50GB디스크의 재생 신호 (리미트 이퀄라이저 후) 를 표시하는 것인데 단층BD디스크와 손색이 없는 신호 특성이 얻어지고 있다. 2층 디스크는 대용량 기록 미디어로서의 BD의 매력을 나타내는 열쇠가 될 것이다.

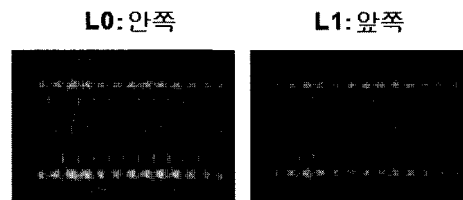


그림4-4. 50GB기록의 재생 신호 아이 패턴

[인용 문헌]

- 1) K. A. Rubin et. al.: Proc. SPIE 2338 (1994) 247.2) K. Nagata et. al.: Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) 1679.
- 2) K. Nagata et. al.: Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) 1679.
- 3) S. Hayashi et al.: Technical Digest of ISOM2001, Taipei, Pd-33 (2001) 310.

5. 콘텐츠 보호 시스템과 인터페이스  
BD는 디지털 방송의 HD 콘텐츠 기록을 상정하고 있기 때문에 SD 콘텐츠 밖에 기록하지



많은 종래의 DVD보다 콘텐츠의 보호가 중요하게 된다. 그래서 디지털 방송 등의 MPEG-TS 기록에 최적화된 새로운 콘텐츠 보호 시스템(Content Protection System for Blu-ray Disc Rewritable)을 채용하고 있다.

디지털 방송 콘텐츠를 기록하는 경우 콘텐츠 보호의 개요를 그림5-1에 표시한다. 기록을 할 때에는 우선 디지털 방송 신호에 삽입되어 있는 복사 제어 정보를 검출한다. 그리고 복사 제어 정보에 따라서 복사가 허가된 경우에는 콘텐츠와 복사 제어 정보를 암호화하여 디스크에 기록한다. 재생 시에는 기록되어 있는 콘텐츠 및 복사 제어 암호를 복호하고 콘텐츠 보호 기술을 실은 형태로 출력한다.

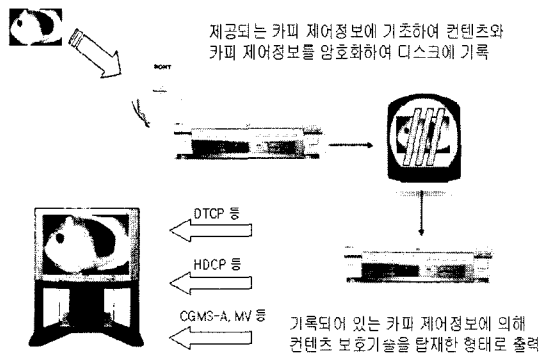


그림 5-1 콘텐츠 보호 개요

BD의 콘텐츠 보호 시스템에서는 안전성을 높이기 위해서 콘텐츠의 암호화에 키 길이 56bit의 DES(Data Encryption Standard) 암호를 채용함과 동시에 암호화 키 생성 프로세스에 키 길이 112bit의 Triple DES 암호를 채용하고 있다. 또 부정 기기(정해진 규칙을 따르지 않고 복사를 행하는 기기)의 배제(System Renewability) 및 부정 복사 방지를 위해, 암호화 키를 생성 하기 위한 정보인 RKB(Renewal Key Block) 정보 및 디스크 고유의 Disc ID를 디스크의 ROM 영역에 기록하고 있다. 레코더(플레이어)는 메이커 혹은 기기가 서로 다른 Device Key를 보유하고 있어, 이 Device Key와 RKB를 조합함으로

써 암호화 키를 생성한다. 따라서 RKB의 정보를 갱신함으로써 부정기기의 배제를 시행할 수 있다. 더욱이 암호화 키의 생성에 디스크 고유의 정보인 Disc ID도 이용함으로써, bit by bit 복사를 시행해도 암호화 키를 생성할 수 없어 부정 복사도 방지할 수 있다.

이러한 안전성 높은 암호화 기록에 더해, 재생한 콘텐츠를 출력하는 인터페이스에서도 콘텐츠 보호 기술을 채용하여, 인터페이스를 통한 부정 복사 및 인터넷 등을 통한 불특정 다수에 대한 전송신도 방지하고 있다. IEEE 1394 인터페이스에서의 MPEG-TS 스트림 출력에서는 DTCP\*1) `HDMI\*2) 인터페이스에서의 베이스 밴드 디지털 출력에서는 HDCP\*3)에 따라서 콘텐츠 보호를 수행하며 출력한다. 또, 아날로그 영상 신호 출력에서는 CGMS-A 및 매크로 비전 복사 제어 신호를 부가하여 출력한다.

## 6. Blu-ray Disc와 카트리지

전술한 바와 같이 일반적으로 광 디스크의 광 투과층 두께는 수십 미크론 정도면 되고, Blu-ray의 에러 정정도 그것에 맞춰 설계되므로 그다지 신경 쓸 일이 없다. 한편, 광 디스크에 있어서 지문은 문제다. 이것은 정도 문제이지만 광 투과층의 두께에 상관없이 지문은 서보 및 신호의 기록 재생에 막대한 영향을 미치는 경우가 있다.

또 한가지, 표면의 스크래치 등과 같이 광 투과층의 내부에 미치는 상처도 광디스크에서는 피하고 싶은 것이다.

- \*1) Digital Transmission Content Protection : 히타치, Intel, 마쓰시타, 소니, 도시바 등 5사가 제안한 IEEE 1394 등에 대응하는 콘텐츠 보호 기술.
- \*2) High-Definition Multimedia Interface : 히타치, 마쓰시타, Philips `Silicon Image `소니, Thomson `도시바 등 7사가 제안한 민생 기기용 베이스 밴드 디지털 전송 방식.
- \*3) High-bandwidth Digital Content Protection : Intel이 제안한 HDMI 등에 대응하는 콘텐츠 보호 기술.

사용자

Blu-ray Disc는 가정용 비디오 레코더를 최초의 상품으로 생각하고 있다. 이 분야에서의 사용자로는 가정에서 일상적으로 TV를 녹화하는 층으로 비디오 테이프와 같은 느낌으로 다루는 분들부터 광 디스크를 처음으로 다뤄보는 분들까지 상정하고 있다. 기억하고 있는 분들도 있을지 모르지만 CD-ROM도 처음에는 카트리지(케디)에 들어 있었다. 잡지의 부록으로 붙어 나오는 현재로서는 도저히 상상할 수 없을지도 모르지만 실제로 그랬다. 또 8cm 카메라용 DVD-RAM은 계속 전용 카트리지를 사용하고 있듯이 카트리지는 그 시스템의 사정이 아닌 사용자의 사용 편의성 때문에 도입되고, 그것이 편리하다면 남게 되는 것이다. 이들 사정에 비춰봐서 심한 지문을 방지하기 위해 Blu-ray Disc는 처음에는 카트리지를 사용하는 형태로 시작한다. Blu-ray의 카트리지는 그림에 표시하는 바와 같이 2종류가 정의되어 있다.

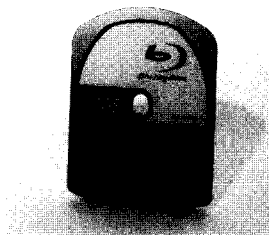


그림 6-1 Blu-ray 카트리지의 인쇄면

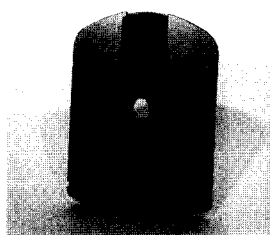


그림 6-2 Blu-ray 카트리지의 신호면

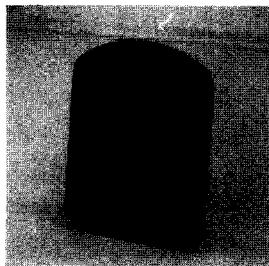


그림 6-3 밀폐형 카트리지의 표면

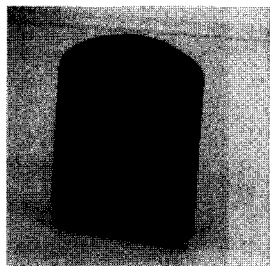


그림 6-4 밀폐형 카트리지의 신호면

하나는 인쇄면이 오픈된 것, 또 하나는 카트리지 전체가 밀폐구조를 취하고 있는 것이다. 이들은 다른 듯 보이지만 실제로 기록면에서 보면 동일 설계로 되어 있고 간단하게 말하면 상면의 덮개가 있는지 없는지의 차이뿐이다. 카트리지는 최대한 간단한 것이 바람직하기 때문에, 앞으로 인쇄면이 오픈된 것으로 집약되도록 되어 있다. 이 오픈 타입의 분진 테스트의 결과를 그림 6-5에 표시한다.

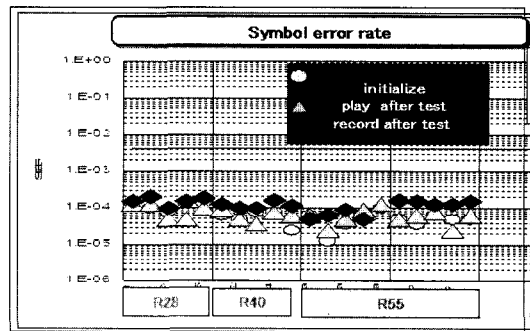


그림 6-5 카트리지의 분진 시험 결과

이 카트리지는 디스크를 래치하는 기구를 가지고 있어, 레코더에 삽입되지 않으면 이것이 풀리지 않은 기구로 되어 있기 때문에 기록면 측은 밀폐된 구조다. 래치되어 있을 때는 디스크가 내 외주에서 카트리지에 밀착되는 구조를 가지고 있어 분진 침입을 방지하는 구조로 되어 있다. 그림 6-5의 데이터는 가정에서의 사용 환경을 상정하여 10년 동안 노출한 후를 예측한 것으로 Blu-ray의 에러율 기준인 바이트 단위에서의 에러율 4.2E-03 (그림에 붉은 선으로 표시)을 충분히 밑돌고 있어 충분한 내성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 이들 카트리지를 이용하여 Blu-ray Disc가 VTR의 테이프와 같은 자유로운 사용이 가능했으면 하고 기대하고 있다.

Bare 디스크

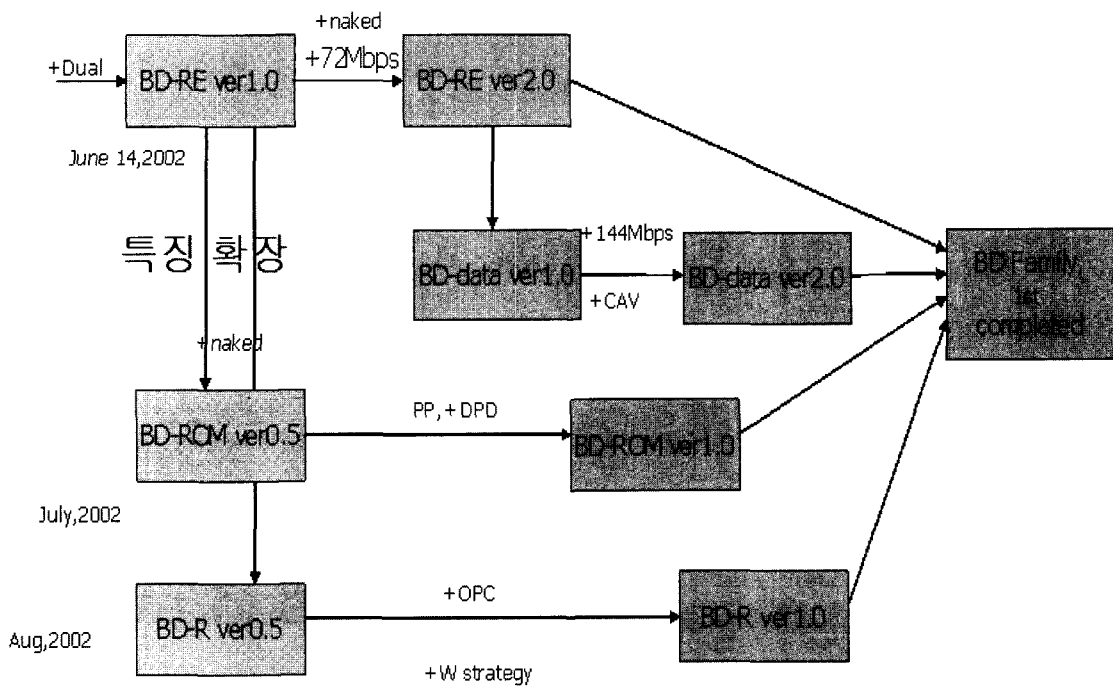


그림 7-1 Blu-ray 표준 로드 맵

CD-R 또는 DVD-RW, +RW가 처음부터 카트리지를 이용하지 않는 점, 그리고 DVD-RAM에도 카트리지가 없는 것이 증가하고 있다는 것에서 알 수 있듯이 미디어의 가격이 상당히 저렴해졌을 때 혹은 PC의 기록 장치로서의 용도가 시작되었을 때를 생각하면 역시 카트리지가 보급 속도의 장애가 되는 경우가 있다. 그러나, CD-R, DVD-R의 사용자 중에는 지문 등으로 인해 기록 재생이 잘 되지 않은 경험을 가지고 있는 분은 적지 않을 것이다. Blu-ray는 그러한 상황에서 사용될 때를 위해 하드 코트의 기술을 채용하게 될 것이다. 한가지 예로서 TDK사가 앞서가고 있는 Blu-ray용 하드 코트 기술이 있다. 이 막은 나노테크놀로지를 구사한 상당히 단단한 막으로 만일 기록 재생에 지장이 있는 경우 간단하게 터슈 등으로 쓱쓱 문지르면 디스크 표면에 전혀 상처가 나지 않고 아무리 심한 지문이라도 닦아

낼 수 있다. 이렇게 각사에서 개발되고 있는 하드 코트의 기술은 기기에 큰 충격이 예상되는 상황에서 Blu-ray disc가 카트리지가 없이 사용되는 경우를 상정하고 있다. 이 기술은 Blu-ray이 외에도 지문으로 고민하는 어떠한 광디스크에도 극히 유효하며 앞으로 DVD의 기록형 디스크 등에도 사용할 수 있을지 모른다.

앞으로 도입이 예정되어 있는 Blu-ray의 R, ROM에서는 Bare로 이용하지만 표준적으로 카트리지는 Option으로 취급될 것이다.

### 7. 블루레이 디스크 규격의 로드맵

블루레이 디스크 규격의 로드 맵을 그림 7-1에 표시한다. 첫번째 규격인 재기록 가능한 디스크 (BD-RE: Re-writ-able)은 2002년 6월에 발행되었다. 전송 속도는 기준 속도인 36Mbps(1배속, 1X)이다. 블루레이 디스크 규격은 이 재기록 가

능한 디스크를 기준으로 하여 모든 규격으로 확장해 나갈 계획이다. 현재, 재생 전용형 (BD-ROM) 및 한번 기록 가능형 (BD-R)을 책정 중이며, 올해 안에 발행할 예정이다. 물리 특성뿐만 아니라 논리층, 어플리케이션층이 물리 특성의 완성 시기에 맞춰 완료하도록 되어 있다. 재생 전용형은 피트 대응의 트래킹 방식인 DPP 방식을 추가하는 등의 형태로, 한번 기록형은 최적 파워 제어 및 기록 파워를 수정하는 등의 형태로 각각 재기록 가능한 디스크에서의 확장을 꾀하고 있다. 이와 같이 "Transfer all features"를 사상으로 하여 Derivative (파생 규격) 으로의 전개를 꾀하여 각 사의 같은 엔지니어들이 담당해 나감으로써, 일관성 있는 파생 규격의 도입을 꾀하고 있다. 그림에서의 +는 기능의 부가를 의미한다. 예를 들면 +naked은 그 파생 규격에서 카트리지가 없이 사용을 부가한다는 것을 의미한다.

한편, 고속화에 대한 확장에서는 우선 기존의 재기록 가능한 디스크를 그대로 2배속(72Mbps)으로 한 고속 버전을 계획 중이다. 재기록 가능한 디스크는 HDTV 레코더 등의 AV용도를 주요 타겟으로 하고 있지만 데이터 용도로서의 구조도 이미 갖추고 있다. 따라서 PC 대응을 주요 타겟으로 한 데이터용 규격 (BD-Data)로의 확장을 용이하게 꾀할 수 있다. Blu-ray의 NA가 크고, 기록 파워가 DVD에 비해 낮아도 되는 점, 밀도가 높은 점에서 고속화도 유리하게 진행되고 있고 종래의 광 디스크에서는 도달할 수 없었던 고속 기록이 가능하게 되었다. 기존에서는 미디어 자체가 갖고 있는 기록 속도 한계가 눈에 띄었지만, 현재 Blu-ray에서는 오히려 하드웨어의 능력이 한계가 되고 있다. 데이터용 전송 속도는 2배속에서 다시 4배속(144Mbps)으로 진행되고 있는데 이것을 위해서는 기존의 CLV(constant linear velocity) 제어에서 CAV(constant angular velocity) 제어

로 변환해야 할 필요가 있다.

이상의 확장으로 제1세대의 블루레이 규격을 완성할 수 있게 된다. 그런데 그 이후 전개로는 지속적인 고속화와 대용량화가 필요할 것이다. 고속화는 8 배속에서 그 이상으로 진행될 것으로 예상되지만 디스크 회전 수의 한계를 1만회전/분으로 하면 외주에 있어서는 12배속 부근까지의 고속화가 가능하여 약400Mbps의 하드 디스크에 필적하는 전송 속도를 얻을 수 있게 된다. 한편, 대용량화에 관해서는 CD 650 MB ` DVD 4.7 GB ` BD 25 GB에 이어서 수백GB의 규격을 기대하고 있을 것이다. 그것을 위해서는 현재 가장 기록 밀도가 높은 광 디스크 기록 방식인 블루레이 방식을 베이스로 하여 다차·다층화 및 신호 처리 등의 측면과 부호화 방식 등의 면에서의 양면적인 접근이 필요하게 될 것이다.

더욱이 충분한 용량이 있으므로 8cm 등의 소형화 추세도 앞으로 있을 수 있다고 생각된다.



Mr. Shin-ichi Tanaka  
(田中 伸一)

1971년 동경 공업 대학 전자 공학과 졸업 후 마쓰시다 전기 산업 입사  
당해박막 전자 재료, 1978년D AD(현 CD), 1989년DVD개발.

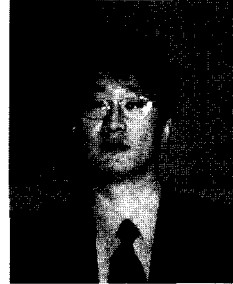
1999 ~ 현재 Director  
Storage Media Systems Development Center  
Matsushita Electronic Industrial Co., Ltd.



Mr.Fumihiko Yokogawa  
(横川 文?)

1975년 교토대학공학부 전자  
공학과 졸업, 동년 파이오니  
아 입사  
1981년 CD 플레이어 개발및  
광디스크 시스템 개발

1991년 DVD 개발. DVD-ROM 규격 책정에 참여  
2002년 12월부터 연구개발본부 종합연구소 차장  
현재 : Deputy General Manager  
Corporate R&D Laboratories  
R&D Group  
Pioneer Corporation



Dr. 김진용

1983 서울대학교 전자공학  
학사  
1985 카이스트 전기공학 석  
사  
1992 아이오와 주립대학 전  
기공학 박사

1993 Ames Lab 에서Optical NDE 부분 연구  
주요 연구분야 : 고밀도 광기록 기술  
현재 : 부사장  
DCT Group  
Digital Media Research Lab.  
LG 전자



Mr. Masuo Oku  
(奥 万?男)

1979 년 동경 공업 대학 대  
학원 종합 이공학 연구과 수  
사과정 수료  
주식회사 히다찌 제작소 입사  
레이저 디스크, VTR, 화상부호

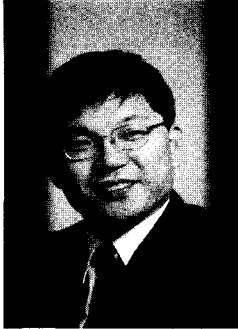
화 LSI 등의 개발을 거쳐 DVD 카메라등의 개발 참여  
2001~2003 년, 디지털 미디어 개발 본부 스토리지  
미디어 개발 센터 센터장으로  
DVD 및 BD 의 연구 개발 담당.  
현재 : Corporate Senior Staff  
Hitachi, Ltd.



Dr.Jacques Heemskerk

1944년 출생. Leyden Univer  
sity 에서 1973년 박사 학위  
취득.  
동년Philips Research 에 입  
사. LD의 회절 현상 및 다이  
오드 레이저 연구.

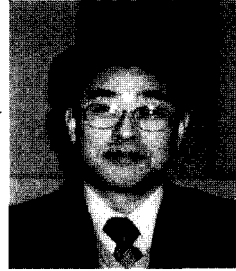
1976~1978 ablative WO optical data recording 연구  
1979Philips Consumer Electronics 의 Compact Disc  
Laboratory 참여  
CD-R 및 CD-RW 의 드라이브와 규격 개발의 프로젝  
트 리더  
DVD규격 개발 참여  
1997년 부터 차세대 광디스크의 가전부분 레코딩 개  
발의 공동 프로젝트 리더  
현재 : Senior Manager  
Property & Standards  
Philips Intellectual B.V.



Dr. 고정완

1960년 출생  
1985년 부산대학교전자공학과 졸업. 삼성전자 주식회사 입사  
디지털 기록 재생 기기의 연구 개발.  
현재 : 수석연구원

AV Application Lab 장.  
Digital Media 연구소  
삼성전자



Mr. Hiroshi Ogawa  
(小川 博司)

1975년, 와세다 대학 대학원 이공학연구과 전기 공학전공 수료, 소니 입사  
기술연구소에서 디지털 오디오 기기의 개발. CD 규격 및LSI 개발 후  
광자기 디스크 개발, CD-R 개발을 거쳐 1999년 부터 Blu-ray 개발.

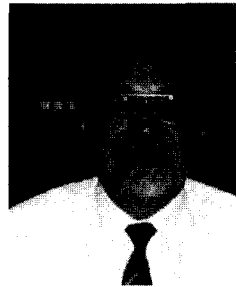
현재 : Senior General Manager  
BD Development Div., Optical System Development Gp,  
Broadband Network Company  
Sony Corporation



Dr. Akira Takahashi  
(高橋 明)

1979년 교토 대학 대학원 공학 연구과 수사 과정 수료후  
샤프 주식회사 입사  
광디스크의 연구개발

2001년 기반기술 연구소 기사장(현재)  
2002년 나라첨단과학기술 대학원 대학객원 교수. 공학박사.  
현재 : Chief Technical Research Fellow  
Advanced Technology Research Laboratories  
Corporate Research And Development Gp  
Sharp Corporation



Dr. Hans-J. Platte

1948년 출생. Technical University Aachen (Germany) 에서 1979년 박사 학위 취득.  
1980년통슨(하노바) 기반 기술 연구부  
1983년 통슨(하노바) Corpor

ate Research lab 매니저  
1993년 통슨(Villingen) Corporate Research lab 매니저  
현재 : General Manager  
THOMSON Corporate Research Germany