

블루레이 디스크의 커버레이어 스펀코팅 시 챔퍼각을 이용한 끝단 범프 최소화 연구

Study in Minimum of Edge Bump using the Chamfer Angle in Blu-ray Disc Cover layer Spin Coating Process

이해곤[†], 손성기^{*}, 조기철^{**}, 신흥규^{**}, 김병희^{**}

H. G. Lee[†], S. K. Son^{*}, K. C. Cho^{**}, H. G. Shin^{**} and B. H. Kim^{**}

Abstract

A Blu-ray disc, which has a more than 25GB optical capacity, has been known as a promising next-generation optical disc format. It commonly has a 1.1 mm thick substrate and a 0.1 mm thick cover layer for beam transmitting and the protection of the reflecting surface. The cover layer is generally formed by the spin coating process. However, in conventional spin coating, small bumps are formed along the rim of the disc, which results in the fatal reading error. Numerical simulation of the thin film flow behaviors during spin coating with the commercial solver and optimal spinning conditions was obtained. Thickness distribution of the cover layer according to the variation of substrate's edge shape could be calculated as well. By modifying the shape of the substrate edge shape, the bumps along the disc rim could be minimized, and it was proved that the chamfered edge, around 5~10 degree, is the simplest and most effective way to minimize the bumps.

Key Words : Blu-ray disc cover layer (블루레이 디스크 커버레이어), Polymer behavior (폴리머 거동), Spin coating process (스핀코팅공정), Chamfer angle (챔퍼각).

1. 서론

최근까지 광 정보 저장 매체로 DVD 가 주로 사용되어 왔으나 정보저장 용량의 증가로 보다 높은 집적도의 저장 매체가 요구되고 있다.

블루레이(blu-ray) 디스크는 이러한 수요에 대응하는 차세대 저장 매체로 국내의 LG, 삼성을 비롯하여 국외의 소니, 필립스, 마쓰시타, 히타치, 파이오니아, 미쓰비시, 톰슨 등이 컨소시엄을 구성하여 디스크 플레이어와 디스크의 개발에 적극적으로 참여하고 있다 [1]. DVD 가 파장 650 nm의 적색 레이저를 사용하는데 비하여, 블루레이 디스크는 405 nm의 청자색 레이저를 사용하므로 기존의 DVD 의 약 5 배의 기록

용량인 25 기가바이트까지 저장용량을 증가시킬 수 있다[2]. 이를 위해서는 최소한 개구수가 0.85 이상인 대물렌즈를 사용해야 하므로, 투과 매체의 두께도 0.1mm 이하의 수준이어야 한다. 하지만 0.1mm 의 기판을 제작하는 것이 어려우므로, 기판 자체는 1.1mm 를 유지하고 그 위에 0.1mm 의 커버레이어(cover layer)를 도포하고 이 커버레이어를 통해 레이저 빔이 입사되어 기록 및 재생이 하는 것이 일반적이다[3-4]. 커버레이어 도포 방법으로 사용되는 스펀 코팅은 원가가 적게 들고 공정이 용이하지만 코팅 이후 두께가 안쪽에 비해 바깥쪽이 두껍게 분포되므로 두께 균일도 확보에 어려움이 있다[5]. 일반적으로 커버레이어의 두께 형성에 영향을 주는 인자로는 스펀속도, 스펀시간, 표면장력, 점도, 스펀 가속비와 감속비 등이 있고, 이러한 인자를 조정하여 스펀코팅법의 문제점을 해결하려는 다양한 연구가 이루어져 왔으나 근원적으로 단덕을 제거하기는 어려운 것으로 알려져 왔다[6]. 본 연구에서는 스펀 코팅 공정 시, 끝단 단덕(bump)을 최소화하기 위하여, 기판 끝단의 형상을 변화시키는 새로운 방법을 채택하였다. 기판재질로는 가공의

† JMI (주) 연구소

E-mail : hgllee@jmikorea.co.kr

TEL : (031)371-9242

* JMI (주) 연구소

** 강원대학교 기계-메카트로닉스공학부
논문접수일 (2006 년 6 월 9 일)

편이성을 위하여 실리콘 웨이퍼 대신에 두랄미늄을 사용하였으며, 무전해도금으로 니켈을 코팅한 후 스펀 코팅 공정을 수행하였다. 사용된 폴리머 레진은 PUA(polyurethane acrylate)이며, 실제 블루레이 디스크의 커버레이어 스펀 코팅과 동일한 조건으로 시험하였다. 또한, 컴퓨터를 이용한 스펀 코팅 유동해석 결과와 실험 결과를 비교 분석하여 해석적 접근법의 타당성을 입증하였다.

2. 스펀 코팅 해석

2.1 시뮬레이션을 이용한 폴리머 거동해석

스핀 코팅을 위한 최적 조건과 둔덕의 최소화를 위한 기판 끝단의 최적 형상을 구하기 위하여 시뮬레이션을 이용한 유동해석을 수행하였다.

Fig. 1 은 점도에 따라 UV 폴리머가 기판에 분포되는 형상을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 폴리머의 점도가 2,500cps 이하일 때, 커버레이어 필름이 안정된 경계를 유지하지 못하고 불규칙하게 비산되었으며, 점도가 너무 높은 10,000cps 에서는 폴리머가 퍼지지 못하는 문제가 발생하였다. Fig. 1(b)에서 알 수 있듯이 점도가 5,000cps 일 경우에 비산되는 양이 적고 폴리머가 기판 전체에 고르게 도포됨을 알 수 있다.

Fig. 2 는 커버레이어 코팅 시 기판 끝단에서의 폴리머의 둔덕 형성 특성을 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 해석 결과 기판의 외주 끝단에서 폴리머의 잔류로 인해 둔덕이 발생되는 것을 알 수 있었다. 또한 Fig. 3 은 스펀 코팅 해석 결과와 실제 실험 결과를 비교한 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이, 해석 결과가 실험 결과와 어느 정도 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 시뮬레이션 해석을 통한 다양한 커버레이어 코팅 거동 특성 검토의 타당성을 입증하고 있다.

Fig. 4 는 기판 끝단의 형상 변화에 둔덕 형성 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과 스텝과 트렌치 형상을 준 경우에도 둔덕의 높이가 감소하는 경향을 보였으나, 둔덕의 감소에 한계가 있었으며, 커버레이어의 끝단 레진 도포 형상이 안정되지 못하였다. 한편 챔퍼를 준 경우에는 둔덕의 높이가 감소하였으며 경계면도 안정되게 유지되었다. 시뮬레이션 결과 비교를 통해 기판의 끝단에 챔퍼를 줌으로써 둔덕을 최소화하고 안정된 커버레이어 형성을 할 수 있을 것으로 기대할 수 있으며, 본 연구에서는 최적의 챔퍼각도를 구하기 위한 추가 실험을 수행하였다.

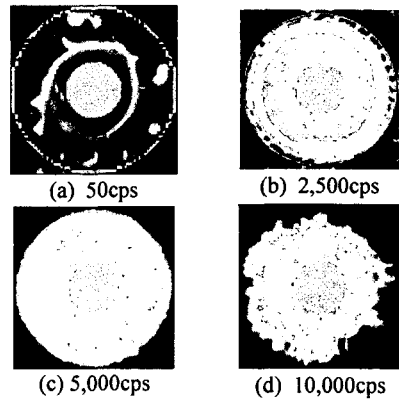


Fig. 1 Resin spreading with respect to viscosity

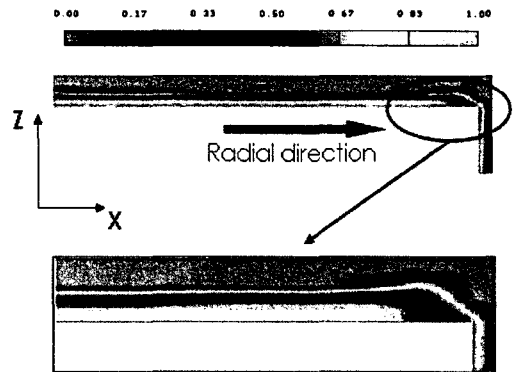


Fig. 2 FEM result of bump forming

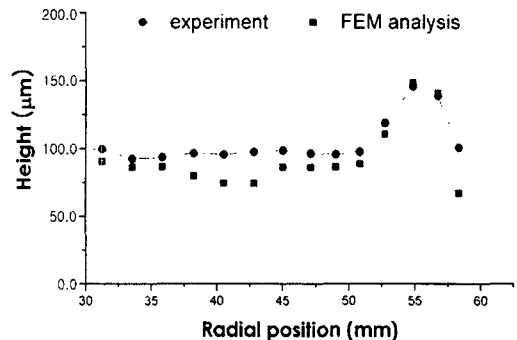


Fig. 3 Comparison of experiment and FEM result

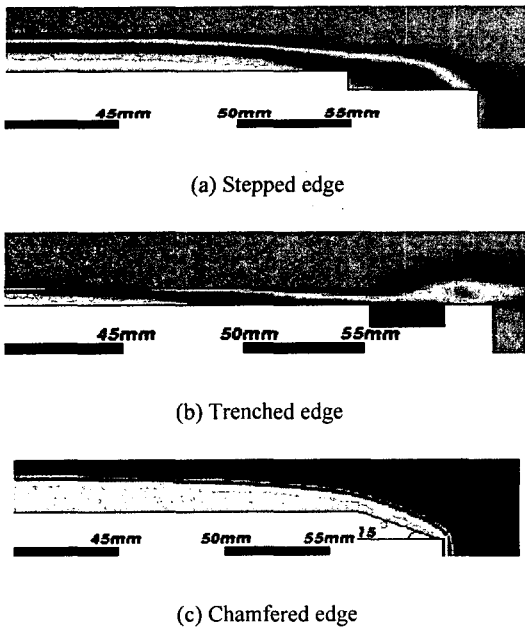


Fig. 4 FEM analysis results according to various edge shapes

3. 스피ن 코팅 실험 및 결과

3.1 스피ن 코팅 실험 장치

스핀 코팅 실험을 위한 기판으로 끝단을 다양한 형상으로 가공한 1.1mm 두께의 두랄미늄을 사용하였다. 기판 표면은 니켈 코팅을 통해 소수성 처리를 하였으며, 기판 표면의 미세 먼지나 파편들로 인해 스피ن코팅시 레진이 비산되는 것을 방지하기 위하여, 메탄올에 30 초, 순수에서 1 분간 세척한 후 질소건조를 하는 방식으로 클리닝 공정을 수행하였다. 코팅재료로는 UV 경화 폴리머인 PUA 를 사용하였다. PUA 는 고분자 폴리머로 온도와 압력의 변화에 대해 작은 수축 상수를 가지며 광 투과율이 높고, 내열성, 내수성, 내화학성이 뛰어난 성질을 가지고 있다[7].

Fig. 5 는 스피ن 코팅의 개략도이다. 먼저 기판 중앙에 점도 5000cps 인 PUA 를 245k Pa로 3.5 초간 토출한 뒤(총 3.5g), 4000rpm 의 회전속도로 PUA 을 기판 표면에 고르게 분산시켰다.

주변온도는 22-23℃, 습도는 50-55%를 유지하였다. 스피ن 코팅이 완료된 후, 약 1 분간 UV 경화하였다. 일반적으로 회전속도와, 가감속비, 회전 시간, UV 폴리머의 점도의 변화를 통해 커버레이어의 두께 조절이 가능하다.

3.2 에지 형상에 따른 둔덕 형성 특성

Fig. 6 은 다양한 끝단 형상에 따른 커버레이어 외주부의 형상을 광학적으로 측정된 결과이다. 스텝 형상이나 트렌치 형상에서는 레진의 높이가 어느 정도 감소하는 것을 확인되었다. 하지만 스텝의 경우 최종적인 에지의 형상이 직각을 이루고 있어 챔퍼를 주지 않은 경우와 유사한 둔덕을 형성하였으며, 트렌치의 경우 둔덕은 현저히 감소하였으나 레진 거동의 불연속성으로 인해 커버레이어의 외주가 불안정하게 형성되었다. 그러나 챔퍼의 경우에는 가공면 끝단 둔덕의 높이가 현저히 감소하였을 뿐만 아니라 안정된 외주형상을 보이고 있음을 알 수가 있다. 또한, 챔퍼는 가공이 용이하므로 스텝이나 트렌치에 비하여 상대적으로 적은 비용과 노력으로 금형을 수정할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

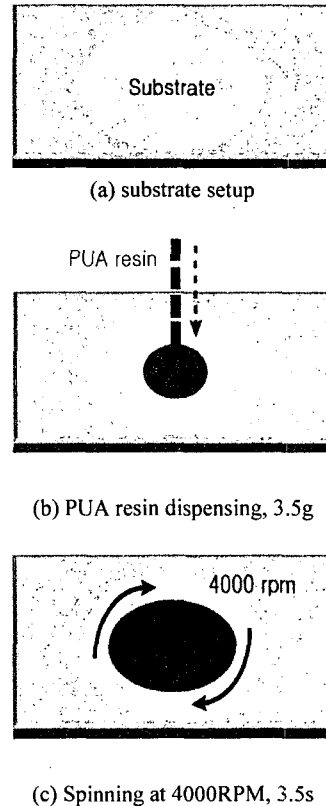


Fig. 5 Schematics of spin coating process for coating cover-layer of blu-ray disc

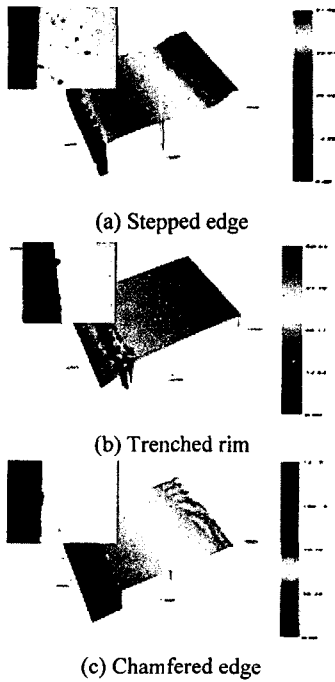


Fig. 6 3D measurement images about polymer behavior with respect to various edge shapes

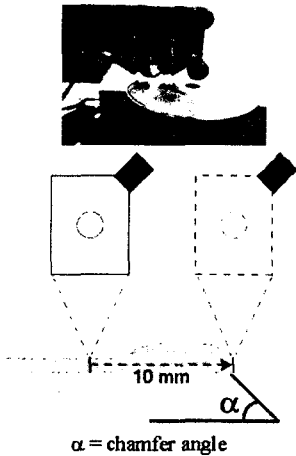


Fig. 7 Laser measuring device

Fig. 7 은 레이저를 이용하여 커버레이어의 두께를 측정하는 장치와 측정방법을 보여주고 있다. 커버레이어의 두께는 매질의 굴절 차이를 이용하여 측정하였으며, 측정구간은 Fig. 7 에서와 같이 원주방향으로 10mm 를 200 μm 간격으로 수평 측정하였다.

Fig. 8 은 이 레이저 장치를 원주방향으로 측정한 커버레이어의 두께 분포를 보여주고 있다. 기판의 중심부로부터 원주 바깥 방향으로 100 μm 의 균일한 두께로 필름이 도포된 것을 확인할 수 있다. 그러나 외주 방향으로 약 57 mm에서부터 둔덕이 발생하기 시작하여, 59mm 에서 이르러서는 커버레이어 두께의 평균값이 약 150 μm 에 이르는 것을 알 수 있다.

일반적으로 안정된 광학특성을 가지기 위해서는 원주방향으로 58mm 안에서 커버레이어의 두께 변화가 $100 \pm 3 \mu\text{m}$ 가 되어야 하는 것으로 알려져 있다. 하지만 Fig. 8 에서 알 수 있듯이 기존의 스펀코팅 조건의 경우 최종적인 둔덕의 높이가 58mm 위치에서 기준보다 15 μm 이상 초과하므로 안정된 광학적 특성을 가지기 어렵다고 볼 수 있다.

기존에는 이를 극복하기 위하여 기판의 크기를 2-3mm 정도 크게 한 후 둔덕이 발생한 기판부위를 전단 등으로 절단해내거나, 접착 시트 방식 (소니, 일본)을 이용하여 근본적으로 둔덕을 발생을 피해왔다. 하지만 이는 제조비용의 증가뿐만 아니라 수율 저하 및 생산량의 한계 등의 많은 문제들을 초래해 왔다.

따라서 챔퍼 에지를 이용한 스펀코팅을 이용할 경우 정밀도가 높은 커버레이어를 얻을 수 있으며 수율과 생산속도도 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3.3 챔퍼각에 따른 둔덕 형성 특성

커버레이어의 둔덕을 감소시키기 위하여, 본 연구에서는 기판의 원주 상에 챔퍼각을 주는 새로운 방식을 도입하였다. 이때 기판의 챔퍼각은 가장 중요한 변수이다. 기판의 챔퍼각에 따른 기판 표면과 PUA 레진과의 상관관계를 도출하기 위해 챔퍼각을 10 도 단위로 0 도부터 90 도까지 가공하여 스펀코팅 실험을 수행하였다. 스펀 코팅 조건은 앞서 언급한 바와 같다.

Fig. 9 는 챔퍼각에 따른 커버레이어의 두께 측정 결과이다. 챔퍼각이 0° (=90°)일 경우, 끝단 둔덕의 높이가 약 150-160 μm 까지 증가하였다.

챔퍼각이 10° 일 때, 둔덕의 높이가 최소가 되었으며, 챔퍼각이 증가함에 따라 점진적으로 둔덕의 높이가 증가됨을 알 수 있었다. 이는 폴리머의 일부가 기판의 끝단에서 표면장력 등의 영향으로 외주 방향으로 흘러내리지 못하고 일부 잔류함에 따른 것으로 판단된다.

Fig. 10 은 둔덕이 시작하는 부분의 기판 단면 사진을 보여주고 있다. 챔퍼각이 0°일 때 둔덕의 높이가 약 158.1 μm, 10°, 30° 및 60° 일 때 각각 107.6 μm, 140.1 μm, 151.5 μm 정도이며, 60°의 경우에서 알 수 있듯이 챔퍼 각도의 증가함에 따라 그 거동이 챔퍼를 주지 않은 경우와 유사해짐을 알 수 있다. 10°의 경우 레진의 높이가 최대 7-8 μm 정도 증가하였으나 약 58mm 이하에서는 그 크기가 무시할 수 있을 만큼 작게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

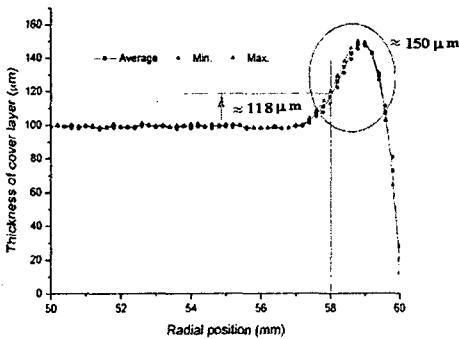


Fig. 8 Thickness distribution of cover layer

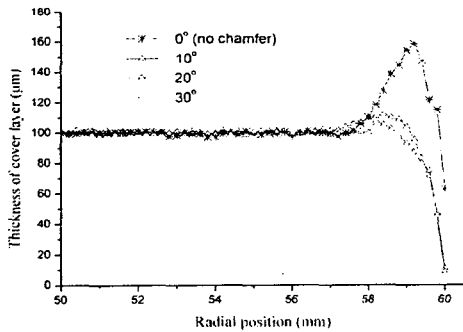


Fig. 9 Thickness distribution of cover layer in accordance with chamfer angles

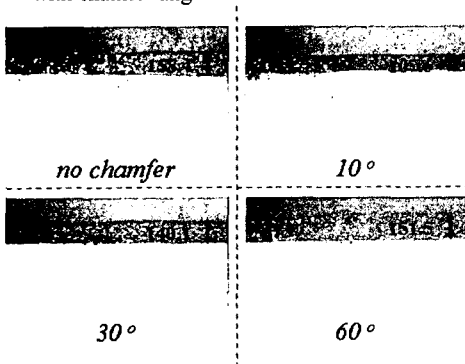


Fig. 10 Microscope images of discs section

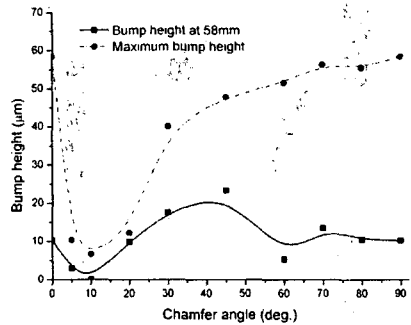


Fig. 11 Bump height with respect to chamfer angles

Fig. 11 은 챔퍼각에 따른 둔덕의 최대높이 (= 측정된 커버레이어 두께-100 μm)를 챔퍼각도에 따라 나타낸 그래프이다. 챔퍼 각도가 5-15° 사이일 때 둔덕의 높이가 가장 작은 것으로 나타났으며, 58mm에서의 둔덕 높이는 스피ن 코팅을 이용한 블루레이 디스크의 커버레이어 코팅 시 요구되는 레진의 변화율이인 100±3 μm에 근접함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 블루레이 디스크의 균일한 커버레이어를 형성하기 위하여, 다양한 끝단 패턴(스텝, 트렌치, 챔퍼각)에 따른 스피ن 코팅을 수행하였다. 챔퍼각을 주었을 때 끝단 둔덕이 가장 크게 감소하는 것을 확인하였다. 둔덕을 최소화하는 최적의 챔퍼각을 얻기 위하여 챔퍼각을 0-90° 사이로 조절하여 스피ن 코팅 실험하였다. 결과적으로 챔퍼각이 5-15° 사이에서 최소 둔덕을 얻을 수 있었다. 또한 실험결과와 타당성을 검증하기 위하여, 시뮬레이션을 이용한 유동해석을 수행하였으며, 실제 스피ن 코팅 실험결과와 비교, 분석하여 가공 형상에 따른 둔덕 감소를 확인하였다. 향후, 다양한 모델링과 유동 해석을 통해 최적의 블루레이 디스크 성형 공정 조건을 얻어낼 예정이다.

후기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21세기 프론티어연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원(06K1401-00500, 06K1401-00511)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Alan E. Bell and Christopher J. Cookson, 2004, Next generation DVD: application requirements and technology, Signal Processing: Image communication 19, pp. 909~920.
- [2] S.H, Lee, MS.Jung, J.S.Sohn, T.S.Song, N.C,Park, Y.P.Park, 2003, Design of Slim Optical Pickup for Blu-ray Disk, KSPE, pp. 386~389.
- [3] Holger Hofmann, S.oren Dambach, Hartmut Richter, 2002, Blue laser phase change recording system, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 249, pp. 499~503.
- [4] Fuzin Huarga, Yiqun Wuab, Donghong Gua, Fuxi Gana, 2005, Synthesis, spectroscopic and thermal properties of nickel (II)eazo complexes with bloe-violet light wavelength, Dyes and Pigments 66, pp. 77~82.
- [5] Jeffrey F. Taylor, 2001, Spin coating : An Overview, Metal Finishing, Vol.99, pp.16~21.
- [6] JH. Tortai, 2004, Modeling of ultra thin resist film structure after spin-coating and post-application bake, Microelectronic Engineering 73-74, pp.223~227.
- [7] H.D.Kim, D.J.Lee, 1998, A Study on the Properties of UV-Cured Polyurethane Acrylates for Secondary Coating of Optical Fiver, Journal of The Korean Fiber society Engineering , 35-12, pp.739~745.