

광 픽업 구면수차 보정을 위한 액정렌즈 광학소자 설계

Design of Liquid Crystal Lens for Compensation of Spherical Aberration

정석호*, 경천수**, 장인철**, 정호섭**, 김영주*

*연세대학교 정보저장기기 연구센터, **삼성전기종합연구소 광모듈 Lab

email : dolphin0kr@yonsei.ac.kr

Blu-ray 광 픽업에서는 광디스크 보호 층의 두께 0.1mm, 405nm 청색 레이저, 개구수 0.85의 고개구수 대물렌즈를 사용하여 25GB의 기록 및 재생 용량을 실현 하였다. 그러나 고개구수에서는 보호 층의 두께 변동에 따른 구면수차 발생량이 매우 커지는 문제가 발생하게 된다. 일반적으로 디스크 두께 변동에 따른 구면수차 발생량은 개구수의 4승에 비례하여 증가하게 된다. 기록밀도를 높이기 위해서 BD규격에서 개구수 0.85, 파장 405nm (DVD : 개구수 0.60, 파장 650nm)를 사용하였다. 이에 따라 디스크 두께 공차 3 μm에서의 수차 발생량이 허용수준을 초과한다.(표1) 종래에는 이를 Liquid Crystal Panel 액정소자를 이용하여 보상하였다.⁽¹⁾ 그리고 이 방식의 조립공차 문제를 해결하기 위해 Plano-concave Lens LC소자가 제안 되었다.⁽²⁾

현재 상용화 되어 있는 DVD Dual Layer의 경우 55μm의 층 간격을 구면수차 보정 없이 사용하고 있으나, 기록계에서는 발생하는 구면수차에 의해 기록 품질 저하가 문제시 되고 있는 상황이다. BD의 경우 각 층의 간격이 25μm 정도의 간격을 두고 배치되어 있는 Multi Layer 디스크 대응을 위해서 기존 방식으로는 이 두께 변동에 따라 발생하는 구면수차를 보정에 대응할 수 없다. 종래의 기술은 보상범위가 3μm로 한정되며 대물렌즈 조립공차가 엄격히 관리되어야 하는 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 액정렌즈에 의한 구면수차 보정으로 위의 문제점들을 해결하고자 한다. 액정렌즈는 오목렌즈 액정소자와 볼록렌즈 액정소자로 구성되며 픽업 광학계 내에 조합하여 설계함으로써 Multi Layer 디스크의 두께 변동에 따라 발생하는 구면수차를 보정하고 대물렌즈 조립공차 문제를 해결할 수 있다.

아래 식은 디스크 두께 변동 시 구면수차 및 RMS수차 발생량과 디스크 경사 발생 시의 COMA수차, 비점수차 발생량을 나타낸 식이며, 표1은 디스크 두께 변동에 따른 개구수별 구면수차 발생 Data이다.

$$W_{Spherical} \cong (NA)^4 \times \Delta d \times (n^2 - 1) / 8n^3$$

$$W_{RMS} \cong W_{Spherical} / 6\sqrt{5}$$

$$W_{COMA} \cong -(NA)^3 \times d \times (n^2 - 1) \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta / 2 \cdot (n^2 - \sin^2 \theta)^{5/2}$$

$$W_{Astigmatic} \cong -(NA)^2 \times d \times (n^2 - 1) \cdot \sin^2 \theta / 2 \cdot (n^2 - \sin^2 \theta)^{3/2}$$

NA \ t오차	3μm	10μm	30μm
0.45	0.001λ	0.005λ	0.020λ
0.65	0.007λ	0.025λ	0.070λ
0.85	0.030λ	0.110λ	-

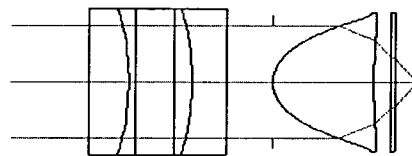


표1. 디스크 두께 오차에 따른 구면수차 발생량

그림1. 액정소자 광학 설계

픽업 광학계는 LD에서 출사한 레이저광이 Collimator렌즈를 통해 평행하게 진행하게 되고 이를 다시 대물렌즈에 입사시켜 디스크의 기록 층에 정확히 초점을 맺히게 하여 기록 층의 Data를 재생할 수 있게 하는 송광계 부분과 디스크에서 정보를 읽은 후 다시 반사되어 Data를 판독하는 부분인 PD로 되돌아가게 하는 수광계 부분으로 나눌 수 있다. 그림1은 픽업 광학계 내부의 대물렌즈와 액정소자 부분의 설계도이다. 본 액정소자는 ITO전극을 연결한 렌즈 형 액정소자의 형태로 설계되어 있으며 전극에 의해 액정내부에 전기장을 인가하면 액정의 굴절률 변동하게 된다. 이때 액정에 의해 렌즈 효과가 발생하게 되며 이는 대물렌즈의 초점에서 구면수차를 발생시키게 된다. 이것을 디스크 두께 공차에 의해서 발생하는 구면수차와 서로 보상하여 각각의 기록 층에 최적의 Spot이 형성되게 하는 방식으로 설계 하였다.

그림2는 디스크 두께 오차에 의한 구면수차 발생량의 Simulation 결과이며, 그림3은 렌즈 형 액정소자를 적용하여 구면수차를 보정한 후의 구면수차 그래프이다.

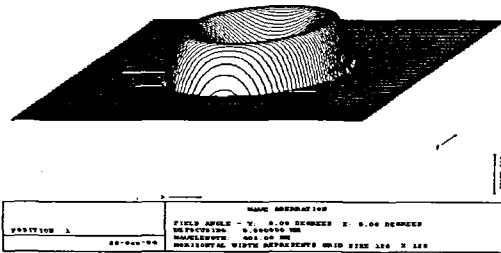


그림2. 디스크 두께 오차 0.02mm 발생 시의 구면수차

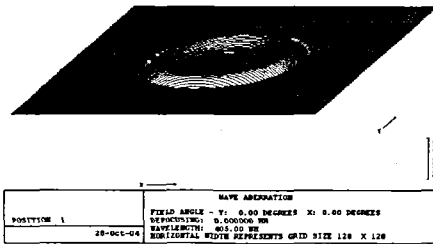


그림3. 액정소자에 의한 보정후의 구면수차

Level	0.000mm	0.01mm	0.02mm	0.025mm
보정 전 RMS수차	0.003λ	0.102λ	0.194λ	0.243λ
보정 후 RMS수차	0.003λ	0.020λ	0.038λ	0.049λ

표2. 디스크 두께 오차에 따른 구면수차 보정 Data

표2는 디스크의 기록층간 두께 변동이 25μm까지 발생하였을 경우의 구면수차 보정 결과이며, 기록층간 간격이 25μm일 경우 오목렌즈 액정소자와 볼록렌즈 액정소자가 상, 하 모두 보정 가능하므로 3층의 기록 층을 이용한 75GB의 정보 저장이 가능하게 되며, 미디어의 기록 층 간격이 10μm 정도가 실현될 경우⁽³⁾ 그 보정 범위는 넓어지게 되며, 위의 설계 결과에서 상, 하 2층이 확보되므로 5층의 기록 층을 이용한 125GB의 정보 저장 능력을 확보할 수 있게 된다.

참고문헌

[1] "The Applications of a Liquid Crystal Panel for the 15Gbyte Optical Disk Systems"
Sakashi Othaki, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38(1999) pp. 1744 ~ 1749

[2] "System Aspects of Dual-Layer Phase-change Recording with High Numerical Aperture Optics and Blue Laser"
Hartmut Pichter, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42(2003) pp. 956 ~ 960

[3] "Proposal for Multi-Layer Blu-ray Disc Structure"
Isao Ichimura, ISOM. 2004.

