

고정밀 DVD 픽업 렌즈의 공차 분석 및 특성 연구

Tolerance analysis and characteristics for
high precision DVD pick-up lens

유광림, 황보창권*, 이윤우**

인하대학교 물리학과((주)엔투에이), *인하대학교 물리학과, **한국표준과학연구원

klyoo@orgio.net

1980년대에 콤팩트 디스크(CD)가 나오게 되면서 더 많은 정보를 동일한 공간에 저장하려는 연구가 현재까지 진행되고 있다.⁽¹⁾ 동일한 공간에 더 많은 정보를 기록하기 위해서는 기록되는 정보의 기본 크기 및 정보간 간격이 줄어들어야 한다. 따라서 이렇게 작아진 정보를 읽기 위해서는 사용되는 렌즈에 의해 모아진 빛의 초점직경(beam spot diameter)이 작아져야 한다. 초점 직경이 작아 지기 위해서는 렌즈의 개구수(NA; numeric aperture)가 커져야 한다. 그리고 큰 개구수의 렌즈를 설계하기 위해서는 렌즈의 초점거리가 작아지든지 렌즈의 개구(aperture)가 커져야 한다. 이와 같이 초점거리가 짧은 렌즈를 제작하기 위해서는 매우 정밀한 가공 기술이 필요하게 된다. 이러한 가공 기술을 초정밀 가공(ultra high-precision machining)이라고 하며, 현재 생산 및 가공할 수 있는 가장 정밀한 렌즈의 대열에 이들 정보 저장용 소형 렌즈가 자리 매김을 하고 있다. 본 연구에 사용된 중요 렌즈 제작 규격은 아래와 같다.

DVD pick-up OL : figure error $0.1\mu\text{m}$ 이하
RMS wave front error : 0.04λ 이내

본 연구에서는 최근에 수요가 증가하고 있는 CDP 혹은 DVD에 사용되는 큰 개구수(high NA)를 갖는 고정밀 광학렌즈를 광학설계 프로그램을 이용하여 설계하였다. 정밀한 렌즈 특히 소형 렌즈의 경우는 곡률 반경이 매우 짧고 렌즈의 형상이 기존의 구면형상이 아닌 비구면 형상을 하고 있기 때문에 제작 및 시험이 매우 어렵다. 따라서 이를 제작하기 위하여서는 현재의 정밀가공과 시험기술 수준을 최적화한 공차 분석 연구가 반드시 필요하다.

공차 분석을 위하여 제작 할 때 발생할 수 있는 대칭 오차와 비대칭 오차(symmetric error and asymmetric error)를 구분하여 분석하였고, 이들이 모두 공존하는 실제적인 경우에 대해서도 공차 분석함으로써 제작 가능한 렌즈 공차를 찾을 수 있었다.⁽²⁾ 대칭 오차는 가공 및 사출 과정에서 발생할 수 있는 렌즈의 곡률 반경 변화와 렌즈의 축 두께 변화 등이며, 비대칭 오차는 가공 및 금형 조립 그리고 사출에 의한 렌즈의 기울어짐(tilt), 축 벗어남(decenter), 굴절률 변화(refractive index inhomogeneity)등이 있을 수 있다. 그리고 렌즈의 작동 환경에 의하여 발생할 수 있는 온도 변화에 따른 렌즈의 특성을 분석하였다. 이들 공차 분석을 실행하기 위하여 각종 오차에 대한 광학 특성을 연속적으로 파악할 수 있는 프로그램을 제작하여 비교 분석하였다. 분석은 실제 구현 할 수 있는 최대의 정밀도 공차 범위 내에서 적용 가능하도록 진행되었으며, 분석한 결과로부터 현실적으로 가장 취약한 부분이 어디인지를 알 수 있었다.

제작된 렌즈의 특성 중 표면 형상을 측정하기 위하여 접촉식 측정 장비인 Form Talysurf를 이용하였고, 투과 파면 수차는 레이저 간섭계(Zygo interferometer)를 이용하였다. 그리고 지터(jitter) 특성을

분석하기 위하여 렌즈의 초점 맺힘 형태(beam profile) 및 강도 분포(intensity profile)를 측정함으로써 실제의 작동 특성과 어떤 관계가 있는지를 연구하였다.

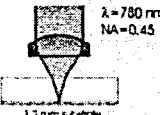
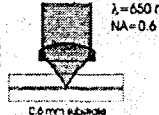


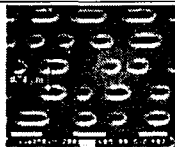

CD	DVD	Blue-Ray
 <p>$\lambda = 780 \text{ nm}$ $NA = 0.45$ 12 nm substrate</p>	 <p>$\lambda = 650 \text{ nm}$ $NA = 0.6$ 0.6 nm substrate</p>	 <p>$\lambda = 400 \text{ nm}$ $NA = 0.85$ 0.1 nm cover layer</p>
 <p>0.78MB for 1H Digital Audio</p>	 <p>4.7GB for SD MPEG2 135min.</p>	 <p>23GB for HD MPEG2, 2hours</p>

그림 1. 각종 저장 매체의 데이터 저장 간격 및 이를 읽기 위한 빔 직경의 모습

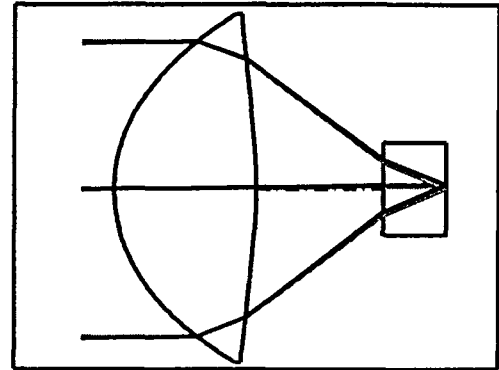


그림 2. DVD용 픽업 렌즈의 설계

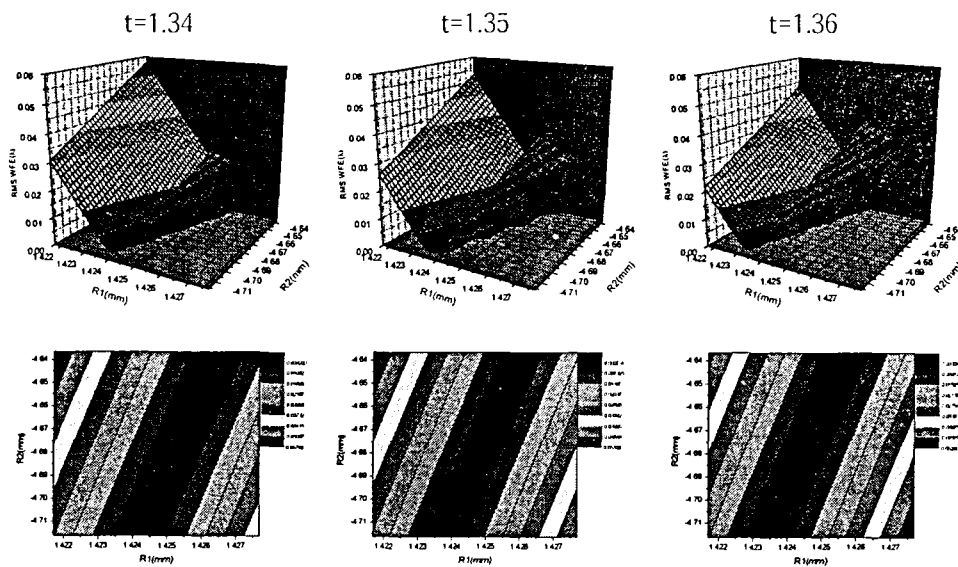


그림 3. 두께에 따른 DVD 픽업 렌즈의 곡률 R1, R2의 변화에 따른 파면수차 특성 분석

위의 결과로부터 렌즈를 가공할 때 각 오차에 대한 공차 방향을 결정할 수 있었다. 즉 렌즈 R1면의 곡률 반경이 큰 방향으로 가공이 되었으면 R2면의 곡률 반경 크기는 작은 방향으로 보상 가공해야 함을 알 수 있었다. 그리고 금형 조립시 틀어짐에 의한 렌즈 특성 변화량이 매우 민감하게 영향받음을 본 연구를 통하여 알 수 있었다.

[참고문헌]

1. Shigeo Kubota, "A Lens Design for Optical Disk System", SPIE Vol. 554 pp. 282~289(1985)
2. Robert R. Shannon, "The Art and Science of Optical Design", Cambridge University Press(1997)