

# 블루레이 디스크 픽업용 초정밀 고개구율 플라스틱 대물렌즈

김부태\*, 현동훈<sup>+</sup>, 유경선<sup>+</sup>

(논문접수일 2011. 10. 06, 수정일 2011. 11. 09, 심사완료일 2011. 11. 09)

## Ultra-precision High Numerical Aperture Plastic Objective Lens for Blu-ray Disc Pick-up

Boo-Tae Kim\*, Dong-Hoon Hyun<sup>+</sup>, Kyung-Sun Yoo<sup>+</sup>

### Abstract

We develop a plastic object lens for blu-ray disc playing pick-up module as morethan 0.85 numerical aperture in this research. We design plastic object lens for blu-ray disc playing pick-up module's each factor's in balanced and made our designed lens by injection molding. Furthermore, by correction designing in mold-core, we optimization our lens efficiency as world grade; wave front aberration  $0.028\lambda$  RMS, light axis differential 0.3967arcmin.

We can manufacture localized blu-ray disc's pick-up lens's component and by this fact we obtain international competitiveness. The result of this research will be very helpful to develop a single objective lens for 3 different wavelength of laser diodes in playing and recording pick-up module.

**Key Words** : Blu-ray(블루레이), Objective Lens(대물렌즈), Numerical Aperture(개구율), Plastic Injection Mold(플라스틱 사출 금형), Wave Front Aberration(파면수차)

## 1. 서론

광 픽업(Pick-up) 광학계는 광원인 레이저 다이오드의 레이저 빛을 디스크의 기록 영역에 집광시켜 자료를 기록하거나, 반사된 빛을 다시 PD IC로 보내어 자료를 읽어 들일 수 있게 해주는 일련의 기능을 하는 광학 부품들로 이루어진 광학 시스템이다.

대물렌즈(Objective Lens, OL)는 그러한 부품들 중에 디스크 면에 근접해 있으면서 레이저 다이오드(Laser Diode)의 빛

을 디스크에 집광시켜 자료를 디스크(Disc) 면에 기록하거나 반사하여 기록된 정보를 읽어 들일 수 있도록 하는 기능을 담당하는 부품이다<sup>(1)</sup>. 대물렌즈는 정밀한 비구면 형상의 구현과 정확한 위상변위가 발생할 수 있도록 초정밀 가공<sup>(2)</sup> 및 미세 형상 사출 기술이 수반되어야 함에 따라, 일반적인 비구면 플라스틱 렌즈보다 정밀한 공정과 생산 시스템의 개발이 필요하다<sup>(3)</sup>.

최근에는 저장매체용 디스크의 기록 밀도가 높아짐에 따라 정보를 기록하는 피치(Pitch)의 폭이  $0.5\mu\text{m}$ 인 CD에서  $0.35\mu\text{m}$ 의 DVD로 블루레이 디스크(Blu-ray Disc, BD)에 와서는 0.25

\* 한국산업기술대학교 광나노전공 (btkim@aoptic.com)  
주소: 429-793 경기도 시흥시 정왕동 2121

+ 한국산업기술대학교 광나노전공

1μm까지 좁아졌으며 이러한 초미세 패턴을 기록/재생하기 위한 광학계도 높은 분해능을 요구하게 되었다. 광 픽업 광학계의 핵심 부품은 디스크의 초미세 패턴을 기록하고 읽어내는 대물렌즈로서 집광 스팟(Spot)의 크기가 CD 2.11μm(개구율 0.45)에서 DVD 1.32μm(개구율 0.6)으로 블루레이 디스크에 와서는 0.58μm(개구율 0.85)으로 점점 더 높은 정밀도를 요구하고 있다.

블루레이 디스크의 높은 기록 밀도에 대응하는 광학 부품 중 가장 높은 정밀도를 가져야 하는 것이 대물렌즈이며 가장 핵심적인 픽업 광학 부품이다. 블루레이 디스크 픽업용 플라스틱 대물렌즈는 블루 레이저 다이오드(Blue Laser Diode, 405nm)의 빛을 디스크에 집광시켜 자료를 기록하거나 집광된 빛이 디스크의 기록 층에서 반사된 빛을 PD IC로 보내주는 기능을 한다.

HD 및 3D 영상 시장의 폭발적인 성장과 더불어 블루레이 관련 시장의 규모도 비약적인 성장을 하고 있지만 핵심 부품인 블루레이 디스크 픽업 렌즈는 대부분 일본 Konica에서 수입 의존 중이다. 특히 이 제품에 사용되는 가장 기본적인 핵심 부품인 대물렌즈는 초정밀 광학 기술의 집약체인 관계로 수입 의존도가 높다. 높은 개구율의 블루레이 디스크 픽업용 대물렌즈는 초기에 고가의 글래스 몰딩(Glass Molding)으로 제작되었으나 가격 경쟁력이 없어 거의 사용되지 않고 있고, 일본 Konica와 Pentax에서 플라스틱 소재를 이용한 사출 성형 방법으로 개발에 성공하여 블루레이 디스크 픽업용 대물렌즈의 국내·외 시장을 선점하고 있다. 블루레이 디스크 픽업용 대물렌즈는 수차를 최소화한 광학설계 기술과 초정밀 가공기술, 사출 성형기술을 필요로 하고 업계 최고의 기술 수준을 요구한다.

본 연구에서는 파면수차(Wave Front Aberration) 값이 0.028λ RMS이내(세계 최고 수준 0.025λ)이고 광축오차가 0.5arcmin 이내 수준을 가진 블루레이 디스크 재생용 픽업 모듈에 사용되는 개구율(Numerical Aperture, NA) 0.85이상의 플라스틱 대물렌즈를 개발하였다. 본 연구를 통하여 블루레이 디스크 픽업 렌즈의 경쟁력 있는 국산화 부품 제작이 가능하고 그로 인해 국제 경쟁력을 확보 할 수 있다.

## 2. 관련이론

### 2.1 광 픽업 광학계와 대물렌즈의 역할

광 디스크의 자료를 기록하거나 읽어내는 것이 블루레이 디스크 드라이브이며 여기에 쓰이는 광학계를 광 픽업 광학계라고 한다. 광 픽업 광학계는 광원인 레이저 다이오드의 빛을 디스크의 기록 영역에 집광시켜 자료를 기록하거나 반사된 빛을 다시 PD IC로 보내어 자료를 읽어 들일 수 있게 해주는 일련의 기능을 하는 광학 부품들로 이루어진 광학 시스템이다.

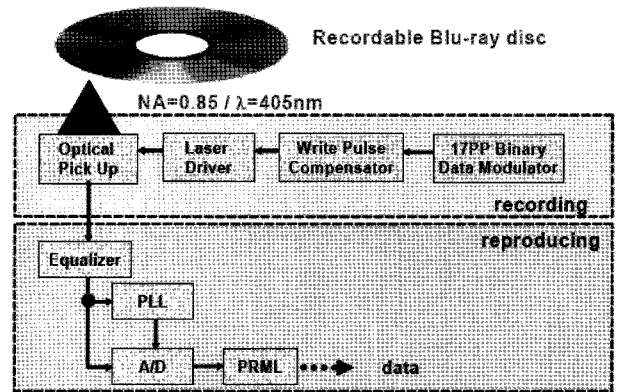


Fig. 1 Block diagram of BD(Blu-ray Disc) Drive

### 2.2 대물렌즈 광학계 파라미터(Parameter)

대물렌즈는 Fig. 2와 같이 빛을 집광시키는 구조를 가지며 블루레이 디스크의 0.32μm 트랙 피치(Track Pitch)와 0.15μm 핏(Pit)의 미세한 정보를 읽어내는데 이를 위해서는 높은 분해능을 가져야 한다. 분해능은 다음 식 (1)로 기술되며 λ는 파장, k는 상수이며 일반적으로 0.61이며, R은 식별되는 거리를 나타내는데 R이 작은 값을 가질수록 분해능은 높아지고 집광 스팟의 크기(D)가 작아진다.

$$R = k \frac{\lambda}{NA} \approx D \quad (1)$$

개구율은 굴절률(n)과 주변광선의 입사각(θ)에 관계된 값으로 식 (2)에서 알 수 있듯이 개구율이 클수록 분해능이 높아지며 파장이 짧을수록 분해능도 높아진다. 블루레이 디스크의 0.32μm 트랙 피치의 자료를 기록하고 읽기 위해서는 대물렌즈의 개구율이 0.85이상<sup>(4~5)</sup>, 파장은 405nm이하가 되어야 한다.

$$NA = n \cdot \sin(\theta) \quad (2)$$

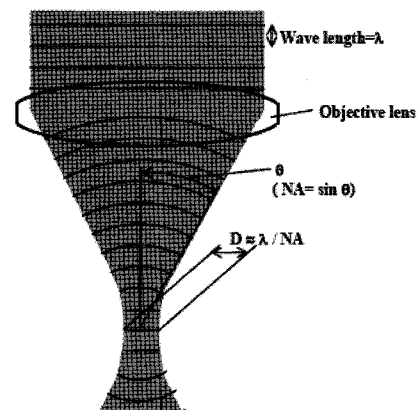


Fig. 2 NA & Resolving power

### 3. 블루레이 디스크 픽업용 대물렌즈 제작

#### 3.1 블루레이 디스크 픽업용 대물렌즈 설계

블루레이 디스크 픽업용 대물렌즈의 Fig. 3과 같이 광학 설계를 하고 수차를 분석하며 제작시의 공차를 감안한 설계시의 공차분석을 하였다. 블루레이 디스크 픽업용 대물렌즈는 청자색의 405nm의 짧은 파장을 사용하고 개구율이 0.85로 매우 커서 수차의 제어가 어려우며 렌즈 면의 경사가 커져 형상의 제어도 어려워 광학 설계시 각 요소별 균형을 맞추어 정밀한 최적화가 필요한 광학계이다<sup>(6)</sup>.

본 연구에서는 수차를 최소화하기 위해 비구면을 렌즈의 양면에 사용하였다. 비구면의 식<sup>(7)</sup>과 효과는 다음과 같다.

$$Z(r) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10} + Er^{12} + Fr^{14} + Gr^{16} + Hr^{18} + Jr^{20} \quad (3)$$

$$r^2 = x^2 + y^2$$

c : vertex curvature(=1/radius)

k : conic constant

A, B, C, D, E, F, G, H, J : 비구면 계수

설계에서는 첫 번째 면에서 k값이 -0.814835로서 타원(Ellipse)형으로 최적화되었고 16차 항까지의 비구면 계수를

Table 1 Target spec of blu-ray disc pick-up objective lens

Specifications	Target spec
Wavelength	405nm
EFL	1.40mm
NA(Numerical Aperture)	0.85
CA(Clear Aperture)	φ2.4mm
I-O(Input-Output) Distance	∞
Magnification	0
WD(Working Distance)	0.42mm
Cover Glass Thickness	0.092mm (n=1.62)

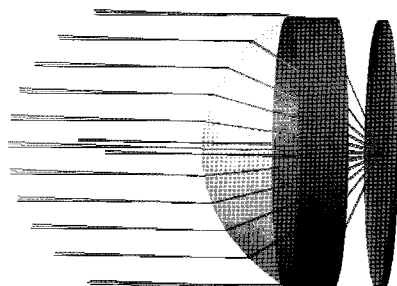


Fig. 3 Optimum design for objective lens in BD pick-up

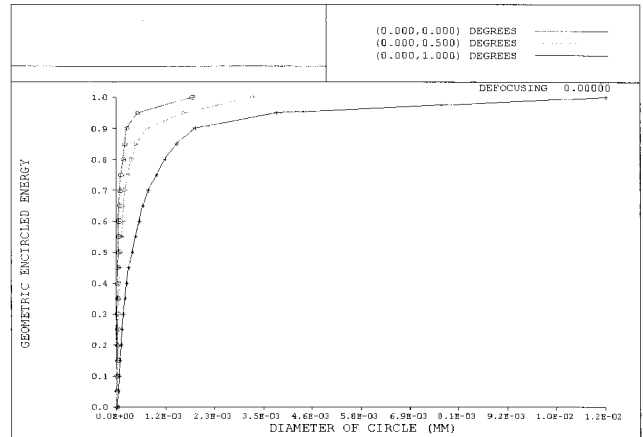


Fig. 4 Encircled energy diagram

사용하였으며, 두 번째 면에서는 k값이 -27.355255로서 쌍곡선(Hyperbola)형으로 최적화되었고 14차 항까지의 비구면 계수가 사용되었다.

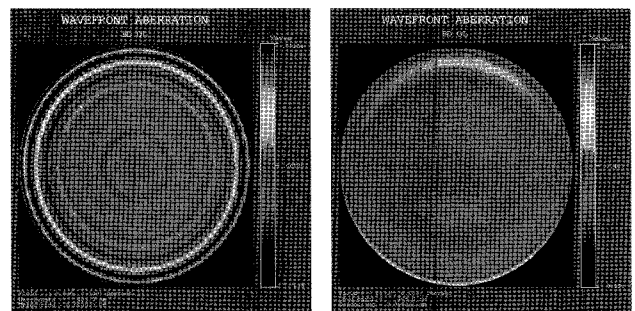
개발렌즈의 소재는 ZEONEX 350R Grade를 이용하였고, 광학계의 설계 목표항목은 Table 1과 같다.

Fig. 4는 광 스팟의 집속도를 나타내는 Encircled Energy Diagram으로서 중심 필드의 경우 스팟 φ1.78μm에 모든 에너지가 들어가는 것을 확인할 수 있다.

#### 3.2 설계 공차 분석

Fig. 5 (a)는 파면수차를 도시한 것으로 중심 필드에서 파면수차 0.003λ RMS, 구면수차 0.000λ RMS로서 수차가 양호한 것을 알 수 있으며 비축에 대해서도 파면수차, 구면수차, 비점수차, 코마수차를 각각 3차, 5차에 대해서 분석한다.

제작시의 공차에 의한 수차변화를 분석하여 성능의 열화를 최소화하기 위한 설계시의 공차분석을 중심 두께 변화, 면간 Decenter/Tilt, 렌즈의 Tilt, 파장 변화에 대해서 진행한다. Fig. 5 (b)는 면간 Decenter 1μm에 의해 입사각 0°의 파면수차가 0.035λ RMS로 열화된 것을 나타낸 것이다.



(a) Angle of incidence 0° (b) Decenter 1μm

Fig. 5 Wave front measurement

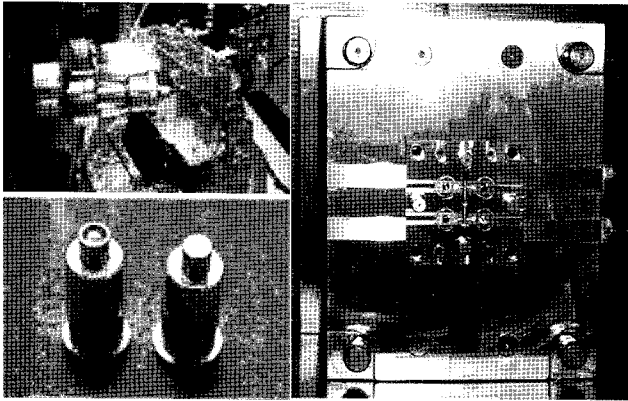


Fig. 6 Mold production

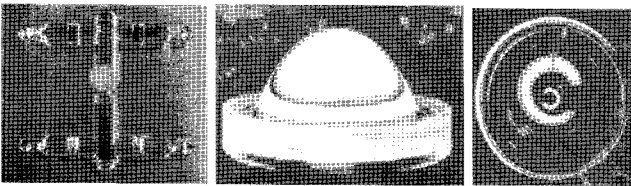


Fig. 7 Shape of injection-molded lens

### 3.3 금형 가공 및 사출 성형

광학 설계 자료를 바탕으로 비구면 렌즈용 금형<sup>(8)</sup>을 설계하였고, 가공 공구(Tool), 공정 및 사출시의 수축 등을 고려하여 금형 설계 및 제작 기술을 확보하였다. 렌즈 금형 설계에서는 사출 재료의 수축률, 수율, 그리고 렌즈 코어 및 핀(Pin)류 형상 기하 공차 등을 고려하여 설계하였다.

Fig. 6은 제작된 코어와 금형의 모습이고, Fig. 7은 제작된 금형을 이용하여 사출 성형한 렌즈의 형상이다.

## 4. 렌즈 측정 및 실험 결과

### 4.1 사출 렌즈 측정 장비

사출된 제품의 파면수차를 측정하기 위해서 Fig. 8의 OLYMPUS KIF-PU 간섭계를 사용하였고, 광축오차는 Fig. 9의 TRIOPTICS 사의 OptiCentric를 사용하였다.

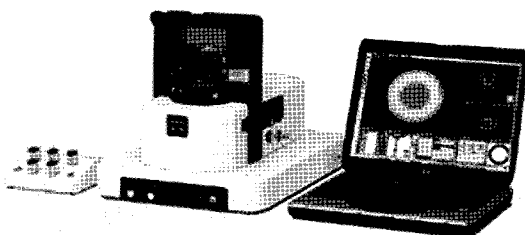


Fig. 8 OLYMPUS KIF-PU(1/20λ)

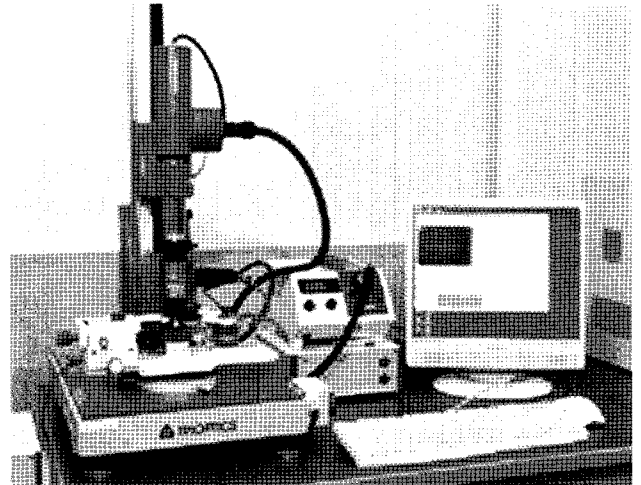


Fig. 9 TRIOPTICS OptiCentric(3.4)

### 4.2 사출 렌즈 측정

Fig. 10은 파면수차를 측정한 결과로 실제 목표로 한 0.035λ RMS에는 못 미치는 0.09~0.128λ RMS의 결과를 얻었다. 또한 Table 2는 광축오차를 측정한 결과로 실제 목표로 한 0.75 arcmin에는 못 미치는 1.1813arcmin의 결과를 얻었다.

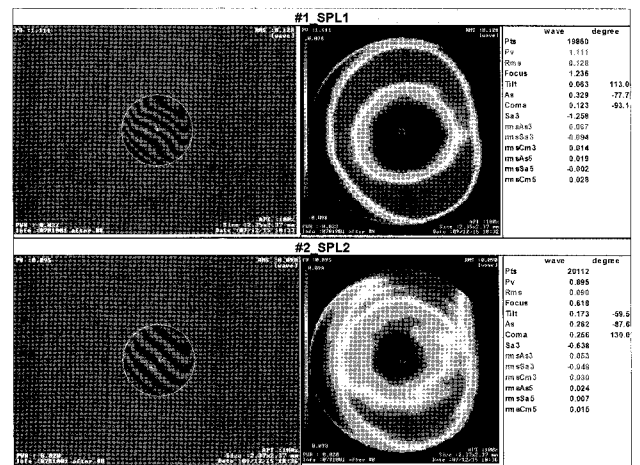


Fig. 10 Result of object lens's wave front aberration

Table 2 Light axis differential of injection-molded lens

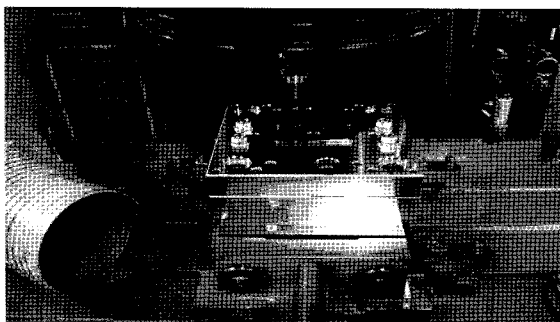
Number	Center X(min)	Center Y(min)	Center (min)
1	-0.34442	1.2449	1.291666
2	0.05157	-1.1229	1.124084
3	-0.36635	1.1144	1.173073
Average	-0.2197	1.1607	1.1813
Std. dev	0.17575	0.07301	0.08617

EFL Sample : 1.41mm

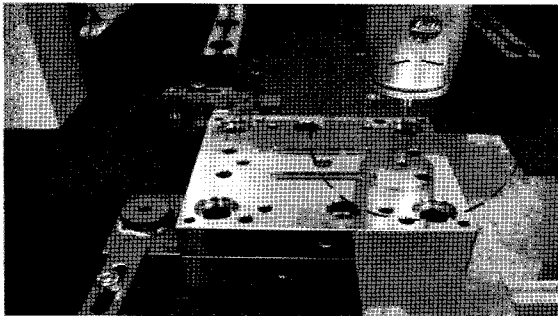
### 4.3 렌즈 보정 설계 및 금형 수정

사출된 제품의 파면수차가 목표치 대비 높게 나온 것은 금형 면간 Tilt 및 Decenter량에 따라 제품상 편심(Centration Error)이 발생하고 형상 정도에 따라 코마 수차 및 구면 수차가 커지므로 이러한 편심을 최소화 할 수 있는 금형 코어 보정 설계 및 가공 제작으로 해결 방법을 모색하였다.

재설계한 데이터를 기준으로 금형의 상·하측 Decenter 최소화를 위해 Fig. 11과 같이 금형의 상·하측을 조립하여 조립 홀(Hole)에 대해 동시 가공을 진행함으로써, 상·하 금형의 치수 편차를 최소화한다. 금형 동시 가공 후 홀 치수에 대해 접촉식 삼차원 측정기를 이용하여 측정 후 가이드 핀(Guide Pin)과 스트레이트 핀(Straight Pin) 치수를 설정하여 맞춤 핀 제작하고 렌즈 성형 시 상·하측 금형의 틀어짐 및 체결 상태를 유지시켜 준다. 가이드 핀과 스트레이트 핀은 렌즈 사출 시 금형의



(a) simultaneously manufacturing of minimize the decenter



(b) Guide pin & Straight pin process

Fig. 11 Mold revision

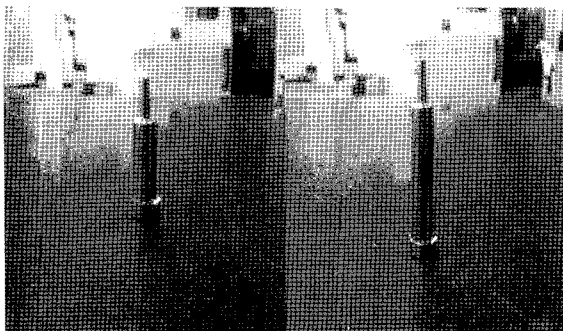


Fig. 12 Core revision

Table 3 Shape differential of before&after core revision

	Target Spec.	Core Revision (Before)	Core Revision (After)
Centration Error	0.5 arcmin	1.18 arcmin	0.39 arcmin
Shape Error of Upper Core	0.4 $\mu$ m	0.4760 $\mu$ m	0.3078 $\mu$ m
Shape Error of Lower Core	0.1 $\mu$ m	0.0841 $\mu$ m	0.0762 $\mu$ m

상·하측의 체결 상태를 유지시켜주며, 마모 상태에 따라 금형의 틀어짐 등을 예측할 수 있다.

Fig. 12는 수정 완료한 코어의 모습이고 Table 3은 코어 보정 전, 후의 데이터를 비교한 표이다.

### 4.4 사출 렌즈 재측정

수정된 금형으로 사출된 제품의 파면수차를 재측정한 결과는 Fig. 13와 같다. 측정결과 파면수차 값은 0.028 $\lambda$  RMS의 양호한 결과가 나왔으며 이것은 금형 Core의 Revision이 정확히 되었기 때문이다.

또한 사출된 제품의 광축오차를 재측정한 결과 Table 4와 같이 0.3967arcmin으로 Spec.이내의 결과를 얻었다.

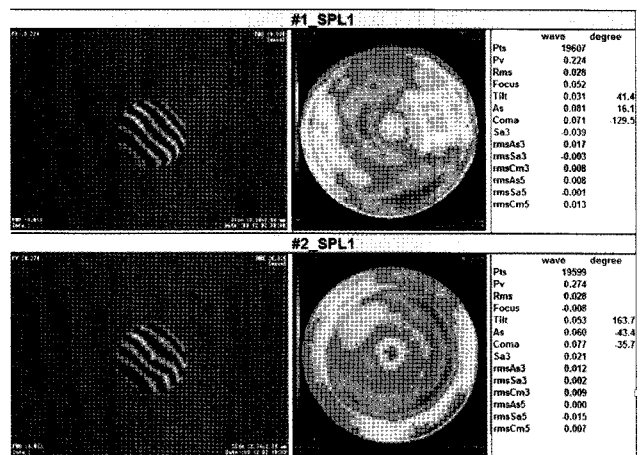


Fig. 13 Result of object lens's wave front aberration

Table 4 Light axis differential with revised injection molding lens

Number	Center X(min)	Center Y(min)	Center (min)
1	0.28351	-0.37231	0.46797
2	0.12711	-0.42018	0.45816
3	0.16479	-0.42234	0.45335
Average	0.1184	-0.313	0.3967
Std. dev	0.18938	0.12601	0.08

EFL Sample : 1.41mm

## 5. 결론

본 연구에서는 블루레이 디스크 재생용 픽업 모듈에 사용되는 플라스틱 대물렌즈를 각 요소별 균형을 맞추어 최적화 설계 하였고 설계 렌즈를 사출 성형하여 렌즈를 제작하였다. 또한 금형코어 보정 설계를 통해 렌즈의 성능을 목표수준 이내로 달성(파면수차  $0.028\lambda$  RMS, 광축오차  $0.39\text{arcmin}$ )했으며 세계적인 수준( $0.025\lambda$  RMS)의 90%에 근접되었다.

이러한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 설계 렌즈의 파면수차를 분석한 결과 중심 필드에서 파면수차  $0.003\lambda$  RMS, 구면수차  $0.000\lambda$  RMS로서 수차가 양호한 것을 알 수 있었다. 면간 Decenter  $1\mu\text{m}$ 에 의해 입사각  $0^\circ$ 의 파면수차가  $0.035\lambda$  RMS로 열화된 것을 알 수 있었다.
  - (2) 초기 제작 측정 결과 개발 광학계의 파면수차는 실제 목표로 한  $0.035\lambda$  RMS에는 못 미치는  $0.09\sim 0.128\lambda$  RMS의 결과를 얻었고 광축오차는 실제 목표로 한  $0.75\text{arcmin}$ 에는 못 미치는  $1.1813\text{arcmin}$ 의 결과를 얻었다.
  - (3) 금형 면간 Tilt 및 Decenter량에 따라 제품상 Centration Error(편심)가 발생하고 형상 정도에 따라 코마 수차 및 구면 수차가 커져 파면수차가 목표치 대비 높게 나왔다.
  - (4) 금형 코어 보정 설계 및 수정 가공을 실행 한 후 재사출한 제품을 측정한 결과 파면수차 값은  $0.028\lambda$  RMS, 광축오차 값은  $0.3967\text{arcmin}$ 의 결과를 얻었다.
- 본 연구개발에서 확보한 NA0.85의 고개구수 대물렌즈의 광학 설계 기술과 파면수차  $0.028\lambda$  RMS 및 광축오차  $0.39\text{arcmin}$ 을 달성 가능하게 한 초정밀 금형기술과 사출성형 기술을 바탕으로 향후 계속 추진해야 할 과제인 1LD(3파장)용 대물렌즈와 기록계용 대물렌즈를 개발해 나가야 하겠다.

## 참고 문헌

- (1) Park, I. K., and Lee, J. W., 2007, "Optical Design of Gradient-Index Objective for Optical Pickup," *Journal of Optical Society Korea*, Vol. 18, No. 4, pp. 256~263.
- (2) Ikawa, N., 1991, "Ultraprecision Metal Cutting The Past, the Present and Future," *Annals of the CIRP*, Vol. 40, No. 2, pp. 587~594.
- (3) Malacara, D., 2007, *Optical Shop Testing*, John Wiley & Sons, New York.
- (4) Maruyama, K., Shimano, T., and Aryoshi, T., 2002, "High NA aspherical single lens for next generation optical disc system(Japanese)," *Optical symposium*, Vol. 27, pp. 51~54.
- (5) Takada, K., Hatano, H., Hashimura, J., Mushiake, N., and Ueda, H., 2002, "Objective Lens for Blue Laser Optical Pickup with Numerical Aperture of 0.9," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 41, No. 3B, pp. 1838~1839.
- (6) Woo, S. H., and Lee, D. J., 2007, "A Study on Key Parameters and Characteristics in the Manufacturing Process of the Dual Pickup Objective Lens," *Journal of the KSMTE*, Vol. 16, No. 3, pp. 1~143.
- (7) Kim, D. J., Yoo, K. S., and Hyun, D. H., 2010, "An Research on Ultra Precise Polishing Manufacturing Technology of Glass for Micromini and Super Wide-angle Aspherics Glasses Lens," *Journal of manufacturing Engineering & Technology*, Vol. 19, No. 2, pp. 135~305.
- (8) Ye, I. S., and Hyun, D. H., 2010, "Effects of Mold Precision in Micromini Cellphone Optical System," *Journal of the KSMTE*, Vol. 19, No. 5, pp 660~666.