

카메라폰 모듈용 비구면 Glass렌즈의 성형 및 광학특성 평가

(Molding and Optical Evaluation of Aspheric Glass Lenses for Camera Phone Module)

김혜정*, 차두환**, 김정호*

(Hye-Jeong Kim, Du-Hwan Cha, Jeong-Ho Kim)

요약 3 Megapixel, 2.5배 Zoom 카메라폰 모듈용 광학계 중 비구면과 평면으로 설계된 평볼록형 비구면 Glass렌즈를 고온압축성형법으로 제작하였다. 제작된 비구면 Glass 성형렌즈의 성능은 성형렌즈의 형상정도(PV) 전사성과 해상도로 평가하였다. Glass렌즈 성형용 몰드의 형상정도(PV)는 비구면의 경우 0.127 μm , 평면의 경우 0.168 μm 이었고, 성형된 렌즈의 형상정도(PV)는 비구면의 경우 0.205 μm , 평면의 경우 0.223 μm 로 90~95 %의 전사정도를 보였다. 성형렌즈의 해상도 평가를 위해 렌즈의 MTF[Contrast]를 측정하였다. 공간주파수 80 lp/mm에서 Contrast가 32.9 %을 보였으며, 이 값은 렌즈 광학설계의 전산모사에서 얻어진 Contrast 33%에 근사한 값으로 성형렌즈의 해상도 특성이 우수함을 알 수 있었다.

핵심주제어 : 비구면 Glass 렌즈, 초정밀 연삭, 압축성형

Abstract Aspheric glass lenses was fabricated by glass molding press(GMP), which is a plano-aspheric convex shape and intended for use as an optical design of 3 megapixel and 2.5 magnifications zoom in a camera phone module. Transcription ratio of form accuracy (PV) as well as resolution properties was measured for evaluation the molded lens. Form accuracy (PV) of the mold surface was 0.127 μm in an aspheric and 0.168 μm in a plano, in case of the molded lens it shows 0.205 μm and 0.223 μm , respectively. Resolution of the molded lens was measured as a MTF[Contrast]. The molded lens shows contrast of 32.9 % at 80 lp/mm and the value is similar with contrast of 33 % obtained simulation.

Key Words : Aspheric Glass Lens, Ultra-precision Grinding, Glass Molding Press

1. 서론

최근 반도체, 영상정보, 전자 광학 분야 등 첨단 산업분야의 확대 발전과 더불어 광학계에 대한 경량화 요구가 높아지고 있다. 비구면렌즈를 채용할 경우 구면렌즈에서 해결이 어려운 결상

저해요소(구면수차, 왜곡수차 등)를 극소화하거나 제거할 수 있으므로 광학계를 보다 고성능화, 소형화, 경량화 할 수 있다. 특히, Glass의 경우 Plastic 렌즈에 비해 우수한 광학특성, 소재의 다양성 및 높은 내열성 등의 장점을 갖는다. 따라서, 비구면 Glass 렌즈는 우수한 성능과 더불어 금형가공 기술의 발달로 압축성형법에 의한 대량생산이 가능하게 되어 고화질 광학계

* 한국광기술원 초정밀광학팀

** 전남대학교 신소재공학부

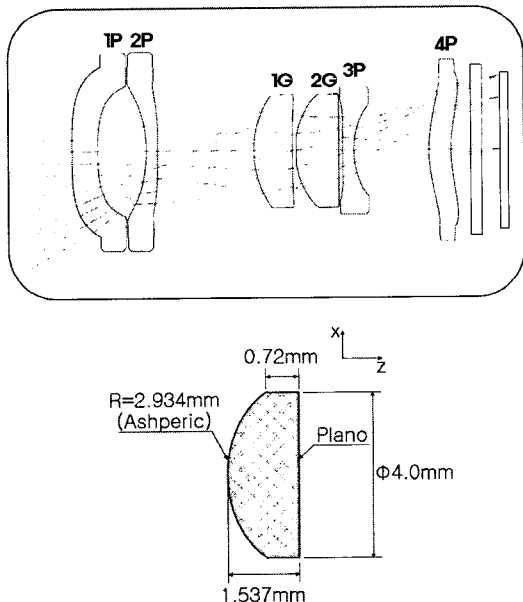
를 중심으로 그 사용영역이 급속히 확대되고 있다[1-2]. 압축성형법에 의한 비구면 Glass 성형 렌즈 제작은 보통 500 ℃이상의 고온에서 이루어짐으로 성형용 몰드는 내열성, 경도, 화학적 안정성이 뛰어난 Tungsten Carbide(WC), Silicon Carbide(SiC), Aluminum Nitride(AlN), Titanium Nitride(TiN), Aluminum Oxide (Al₂O₃), Titanium Carbide(TiC) 및 Stainless Steel 등의 소재를 초정밀 가공하여 제작된다[3-7].

본 논문에서는 고온압축성형법으로 카메라폰에 사용되는 소구경 비구면 Glass 렌즈를 제작하고 제작된 Glass 렌즈의 형상정도 전사성과 해상도를 평가하였다.

2. 실험

2.1. 광학설계

그림 1은 3 Megapixel, 2.5배 Zoom 카메라폰 모듈용 광학계와 Glass 렌즈(2G)의 단면도를 나타낸 것이다. 성형렌즈의 유효경은 직경 3.0 mm이며 렌즈 형상은 비구면과 평면으로 구성된 평볼록형이다.



<그림 1> 카메라폰 모듈용 광학계와 비구면 Glass 렌즈(2G) 단면도

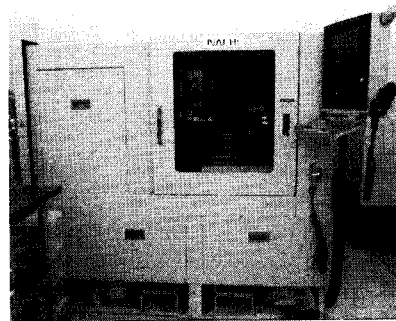
성형렌즈의 비구면형상은 식 (1)의 비구면 방정식으로 표현할 수 있으며, 여기서

$$z = \frac{Cx^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K)C^2x^2}} + \sum_{i=1}^n A_i x^i \quad (1)$$

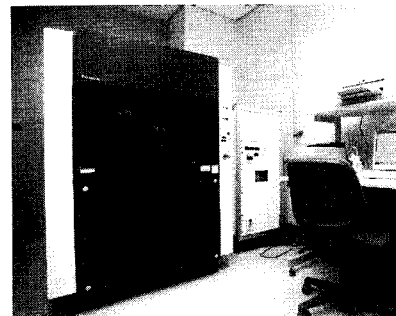
Conic 상수인 K는 -0.298이고, C는 비구면 R 값(2.934 mm)의 역수이다.

2.2. 렌즈 성형용몰드의 초정밀 가공

Glass 렌즈 성형을 위해 사용한 성형용 몰드는 코발트(Co) 함량이 0.5 wt.%인 Tungsten carbide (일본, Everloy社, 002K)를 초정밀 연삭 및 폴리싱 가공으로 제작하여 가공면의 형상정도 및 표면조도를 측정하였다. 그림 2는 렌즈성형용 몰드 가공에 사용된 초정밀 비구면 가공기(일본, Nachi社 ASP01)와 가공면 특성 평가에 사용된 3 차원 자유곡면형상측정기(일본, Panasonic社, UA3P)이다.



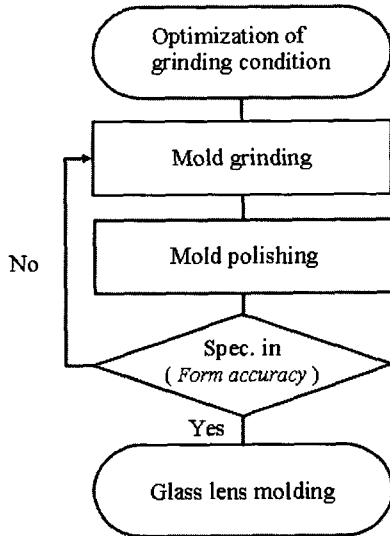
(a)



(b)

<그림 2> 초정밀 비구면가공기(a)와 3차원 자유곡면 형상측정기(b)

초정밀연삭가공이 완료된 렌즈 성형용몰드는 가공면의 표면조도향상을 위해 비구면 폴리싱가공기 (일본, Kuroda社, KRF-2200F)를 사용하여 초정밀 폴리싱 가공을 수행하였다. 그림 3은 렌즈 성형용 몰드의 제작과정을 나타낸 순서도이고, 표 1은 렌즈 성형용 몰드의 연삭가공 조건을 나타낸 것이다.



<그림 3> 비구면 Glass 렌즈 성형용 몰드의 제작 순서도

<표 1> 렌즈 성형용 몰드(Tungsten carbide) 초정밀 가공 조건

Grinding process	
Wheel configuration	SD 1500, Resin bond
Workpiece speed	300 rpm
Grinding wheel speed	30,000 rpm
Feed rate	0.5 mm/min
Depth of cut	0.2 μm
Polishing process	
Diamond grain size	Rough : 2 μm , Finish : 1 μm Polishing medium : Nylon

2.3. 비구면 Glass 렌즈 성형 및 광학특성 평가

Glass 렌즈의 성형과정은 크게 두 단계로 나누어 진행되어진다. 첫 번째 단계는 성형용 몰

드에 Glass 원소재를 투입하여 성형 Chamber 내에 장착한 후 질소가스를 흘려주면서 성형온도까지 가열하는 단계이다. 성형온도는 Glass 원소재의 굴복점 이상에서 결정되며, 성형온도까지 가열된 Glass의 점도는 몰드의 형상전사가 용이한 약 10^7 - 10^9 P가 된다[8]. 두번째 단계에서 렌즈의 가압성형이 수행된 후 서냉 과정을 거치게 된다. 가압 성형된 렌즈는 서냉 과정을 거치면서, Glass의 수축으로 발생하는 형상 왜곡이 구면 수차를 일으킴으로 이를 억제하고 전사성을 높이기 위해 가압이 동시에 이루어진다[9]. 서냉 구간은 Annealing point와 Strain point를 기준으로 설정되며, Glass 원소재의 낮은 열전도율로 인해 발생하는 잔류응력은 서냉을 통해 완화됨으로 서냉 과정은 GMP(Glass Molding Press)의 필수 공정이다. 서냉 과정을 거친 Glass 렌즈는 200 $^{\circ}\text{C}$ 부근까지 급냉시켜 취출 된다.

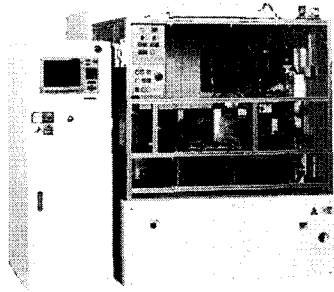
Glass 렌즈의 성형은 500 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 고온에서 이루어지기 때문에 Glass 원소재가 성형용 몰드의 표면에 용착되지 않도록 Glass 원소재의 선택에 있어 구성 성분의 검토가 충분히 이루어져야 한다. 본 연구에서는 결상 광학계에 널리 사용되는 K-BK7(일본, Sumita社)을 Glass 원소재로 사용하였으며, 표 2에 Glass 원소재의 열적·광학적 특성을 나타냈다[10].

<표 2> 렌즈성형용 Glass 원소재 K-BK7의 열적·광학적 특성

Thermal properties	
Transformation temperature (T_g)	572 $^{\circ}\text{C}$
Yielding temperature (A_t)	630 $^{\circ}\text{C}$
Optical properties	
Refraction index (n_d)	1.51633
Abbe number (v_d)	64.1

그림 4는 비구면 Glass 렌즈 성형에 사용된 Glass Molding Press(일본, Sumitomo社, Nano Press-S)장비 와 내부 성형실 chamber 사진이다. 최대 가열온도는 800 $^{\circ}\text{C}$ 이고, 최대 가압력은 9,800 N이다. 렌즈 성형이 이루어지는 성형실

chamber는 quartz 관으로 진공과 질소 purging 이 가능하도록 되어있다.



(a)



(b)

<그림 4> Glass Molding Press 장비(a)와 GMP 장비 내부의 성형Chamber(b)

표 3은 가공된 렌즈 성형용몰드를 사용하여, 본 연구에서 수행한 비구면 Glass 렌즈의 성형 조건을 나타낸 것이다. 성형된 렌즈의 형상정도 및 표면조도는 3 차원 자유곡면 형상측정기로 측정하여 형상정도 전사성을 평가하였다. 성형 렌즈의 광학적 특성평가를 위해 투과파면수차(일본, Olympus社, KIF-202T1-P55), 3 차원 표면조도(미국, Zygo社, NewView5000), 성형전의

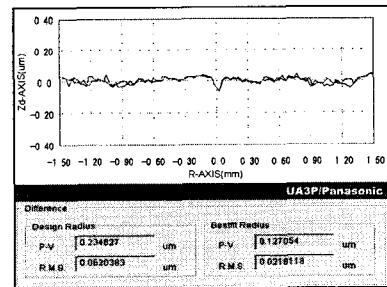
<표 3> 비구면 Glass 렌즈 성형조건

Molding process	
Molding temperature	625 °C
Pressing force	200 - 800 N
Annealing process	
Slow cooling rate	2 °C/sec
Pressing force	400 N
Annealing temperature range	600 - 550 °C

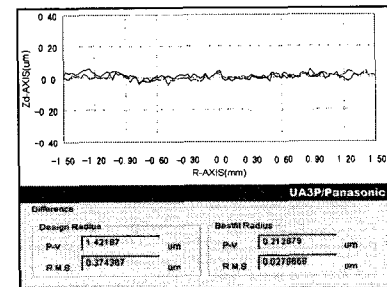
Glass 원소재와 성형 후 렌즈의 굴절률(일본, Shimadzu社, KPR-200), 편심정도 및 유효초점거리(독일, Trioptics社, OptiCentric), MTF[해상도](독일, Trioptics社, ImageMaster Compact HR)등 성형렌즈의 광학적 물리적 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

비구면 Glass 렌즈 성형을 위한 성형용 몰드는 Tungsten carbide를 초정밀 연삭 및 폴리싱 가공하여 제작하였으며, 가공면의 형상정도(PV)와 표면조도(Ra) 측정결과를 표 4에 나타내었다. 성형렌즈에 대한 성형용 몰드의 전사성은 90~95%를 보였고, 이러한 결과로 비구면 Glass 렌즈가 최적화된 성형조건에서 제작되었던 것으로 생각된다. 그림 5와 6은 렌즈 성형용 몰드와 성형렌즈에 대한 비구면과 평면의 형상정도를 각각 나타낸 것이다.

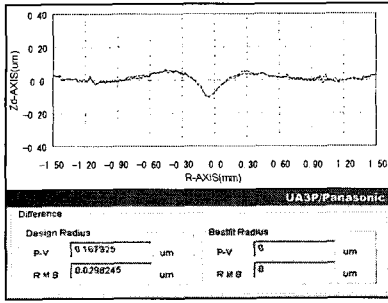


(a)

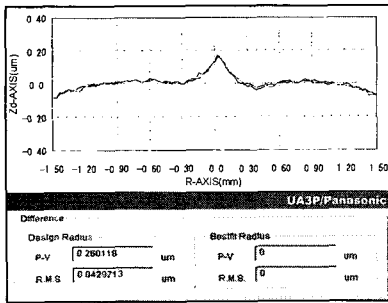


(b)

<그림 5> 비구면 Glass 렌즈 성형용 몰드의 비구면 형상정도(a)와 성형렌즈의 비구면 형상정도(b)



(a)



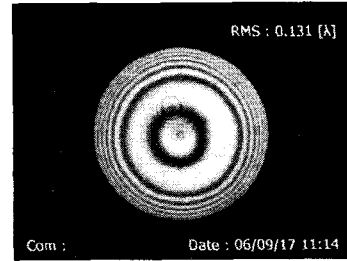
(b)

<그림 6> 비구면 Glass 렌즈 성형용 몰드의 평면
형상정도(a)와 성형렌즈의 평면
형상정도(b)

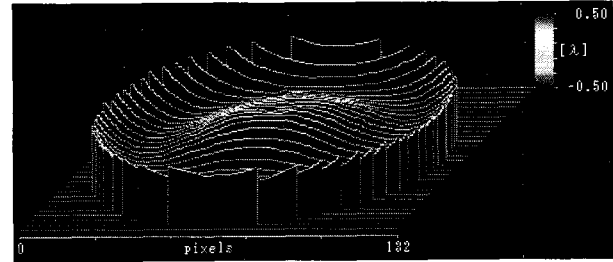
투과파면 간섭계를 이용하여 측정한 성형렌즈의 광행로차(OPD-rms)는 Double-pass에 대한 값으로 0.131λ를 나타냈다. 측정에 사용한 투과파면 간섭계는 He-Ne(λ=632.8 nm) Laser가내장된 Fizeau interferometer로써 고정도(λ/15) 참조면을 사용한다. 성형렌즈의 Strehl ratio값은 Single-pass에 대한 OPD-rms 값(0.0655λ:측정값의 1/2)을 식(2)에 대입하여 계산하였다.

$$Strehl = e^{-(2\pi \times OPD_{rms})^2} \quad (2)$$

성형렌즈의 Strehl ratio 값은 0.844로 Marechal 한계값 이상을 나타냈다. Strehl ratio 값이 0.8(OPD-rms : 0.0714λ)이상일 때 상에 미치는 수차의 영향이 매우 적게 되며, 이 한계값을 Marechal 한계라 한다[11]. 그림 7은 성형된 비구면 Glass 렌즈의 Interferogram과 3차원 profile을 나타낸 것이다.



(a)

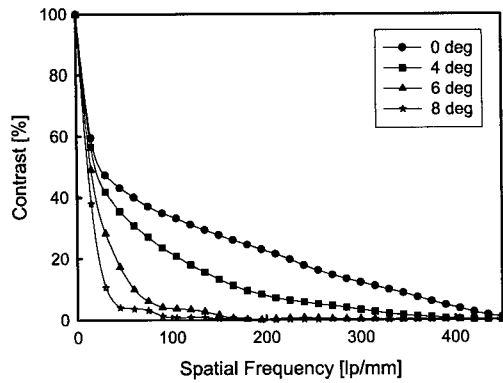


(b)

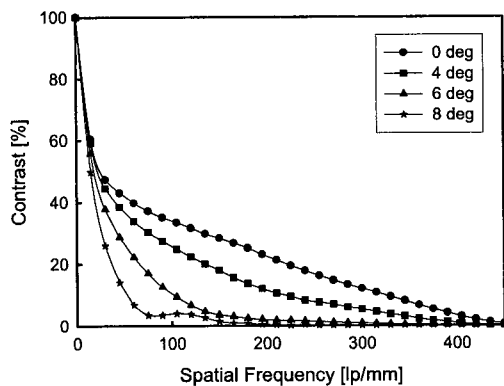
<그림 7> 성형렌즈의 투과파면 수차측정
Interferogram(a)과 3차원 profile(b)

성형렌즈의 광축이 렌즈의 외경을 기준으로한 회전축(기준축)과 이루는 각도인 투과편심을 측정한 결과 1.3 arcmin이었다.

또한, 성형렌즈의 해상력 특성을 평가하기 위해 MTF(Modulation Transfer Function) 특성을 조사하였다. MTF 측정은 주축에서 측정된 유효초점거리 5.625 mm를 기준으로 한 초평면에서 측정되었으며, 측정과장은 546 nm이었다. 비축측정은 0~8 deg 범위에서 2 deg 간격으로 자오방향(Tangential direction)과 구결방향(Sagittal direction)에 대해 이루어졌다. 측정된 MTF 값은 단색수차의 영향으로 전체 공간주파수 영역에서 회절한계 MTF 값보다 낮게 나타났다. 비축정도에 비례하여 MTF 감소폭이 커지는 것은 상면만곡의 영향으로 생각된다. 또한, 비축광학수차인 코마수차와 비점수차의 영향으로 자오방향 MTF 값이 구결방향 MTF 값에 비해 더욱 낮음을 알 수 있었다. 그림 8은 자오방향과 구결방향에 대한 MTF를 나타낸 것이다.



(a)



(b)

<그림 8> 성형렌즈의 자오방향 MTF(a)와 구결방향 MTF(b)

굴절률 특성의 경우 성형 전 Glass소재의 굴절률(n_d) 1.51666에서 성형 후 1.51334로 약 $\frac{3}{1000}$ 감소하였다.

렌즈 성형용 몰드와 성형렌즈의 특성평가 결과를 표 4에 나타내었고, 그림 9는 본 실험에서 제작된 성형용 몰드와 비구면 Glass 성형렌즈의 사진이다.

4. 결론

고온압축성형법을 사용하여 3 Megapixel, 2.5배 Zoom 카메라폰 모듈용 비구면 Glass 성형렌즈를 제작하고 형상정도(PV)와 표면조도 및 여러 광학적 특성을 평가하였다. 비구면 Glass 렌즈 성형을 위한 렌즈 성형용 몰드는 Tungsten

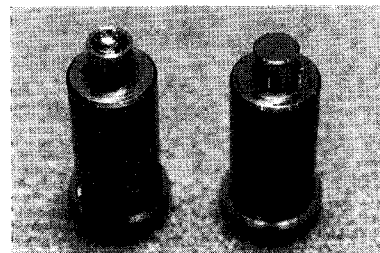
<표 4> 비구면 Glass 렌즈 성형용 몰드와 성형 렌즈의 특성

Molding

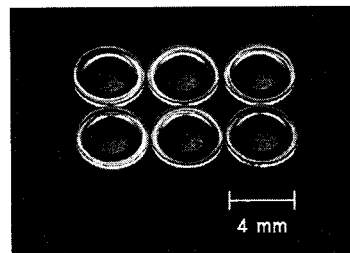
Form accuracy (PV)	Aspheric surface 0.127 μm
	Plano surface 0.168 μm
Surface roughness (Ra)	Aspheric surface 7.1 nm
(2 Dimension)	Plano surface 4.7 nm

Molded lens

Form accuracy (PV)	Aspheric surface 0.205 μm
	Plano surface 0.223 μm
Surface roughness (Ra)	Aspheric surface 8.0 nm
(2 Dimension)	Plano surface 5.0 nm
Transmitted wavefront aberration(OPD-rms)	0.0655 λ (Single pass)
MTF	32.9% (Con.@80lp/mm)
Effective focal length	5.625 mm
Transmitted decentration	1.3 arcmin
Refraction index (n_d)	Raw glass material 1.51633
	Molded lens 1.51334
Appearance	Thickness 1.54 mm
	Diameter 4.0 mm



(a)



(b)

<그림 9> 비구면 Glass 렌즈 성형용 몰드(a)와 성형렌즈 사진(b)

carbide를 초정밀 연삭 및 폴리싱 가공하여 제작하였으며, 가공면의 형상정도(PV)는 비구면 0.127 μm ,

평면 0.168 μm 이었다. 가공된 성형용 몰드를 사용하여 성형된 렌즈의 형상정도(PV)는 비구면 0.205 μm , 평면 0.223 μm 로서 90~95 %의 전사정도를 보였다. 성형렌즈의 투과파면수차를 측정하여 광행로차(OPD-rms) 값을 얻고, Strehl ratio을 계산한 결과 0.844로 Marechal 한계값 이상을 나타내어 광학적 성능이 우수함을 알 수 있었다. 성형렌즈의 해상도를 나타내는 MTF [Contrast] 특성을 측정한 결과 공간주파수 80 lp/mm에서 32.9 %를 나타냈으며, 공간주파수 및 비축정도가 증가함에 따라 MTF가 감소되었다. 특히, 자오방향 MTF는 비축광학수차인 코마수차와 비점수차의 영향으로 구결방향 MTF에 비해 낮게 나타났다.

성형렌즈의 형상 및 광학적 특성 측정결과 3 Megapixel 카메라폰용 광학계에 사용 가능할 것으로 판단되며, 이를 통해 비구면 Glass 렌즈 성형용 몰드의 초정밀 연삭가공과 비구면 Glass 렌즈의 성형을 위한 고온압축성형 과정이 유효함을 확인하였다.

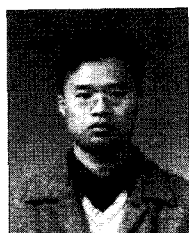
참 고 문 헌

- [1] S.S. Kim, H.Y. Kim, S.H. Jeong, H.Y. Kim, and J.H. Kim, "Development of F-theta Lens for Laser Beam Printer", J. of KIEEME(in Korea), Vol. 19, No. 4, p. 386, 2006.
- [2] H. H. Brown (ed.), "Fabrication Methods for Precision Optics", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993.
- [3] M.K. Budinski, J.C. Pulver, J.J. Nelson, E.G. Hill, and D.A. Richards, "Glass Mold Material for Precision Glass Molding", US Patent, 6, 363, 747, 2002.
- [4] Y. Taniguchi, "Mold for Molding Optical Element", US Patent 5, 855, 641, 1999.
- [5] M. Roberts, "Advances in Moulds and Materials", Glass Technol., Vol. 40, No. 5, p. 136, 1999.
- [6] M. Hock, E. Schaffer, W. Doll, and G. Kleer, "Composite Coating Materials for the Moulding of Diffractive and Refractive Optical Components of Inorganic Glasses", Surf. Coatings Technol., Vol. 163-164, p. 689, 2003.
- [7] S. Hirota, Y. Oogami, and K. Hashimoto, "Method of Producing a Glass Optical Element Capable of Suppressing Occurrence of a Damage of a Mold and Improving a Quality of the Glass Optical Element", US Patent, 6, 151, 915, 2000.
- [8] Y.Y. Allen and J. Anurag, "Compression Molding of Aspherical Glass Lenses-A Combined Experimental and Numerical Analysis", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 88, No. 3, p. 579, 2005.
- [9] B.H. Jeon, S.K. Hong, and C. R. Pyo, "Finite Element Analysis for Shape Prediction on Micro Lens Forming", Transactions of Materials Processing, Vol. 11, No. 7, p. 581, 2002.
- [10] Sumita, Optical Glass Data Book, "Optical Glass for Precision Molding", Code516641.
- [11] 송영란, 이민희, 이상수, "가우스 등 결상계에 대한 Strehl Ratio와 Marechal 한계", 한국광학회지, Vol. 9, No. 4, p. 227, 1998.



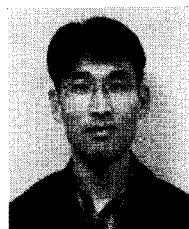
김혜정 (Hye-Jeong Kim)

- 1999. 8 : 전남대학교 화학과 물리화학(이학박사)
- 현재 : 한국광기술원 초정밀광학팀 선임연구원



차두환 (Du-Hwan Cha)

- 1999.3~2001.2 : 전남대학교 자연과학대학 화학과 (이학석사)
- 2006.8~현재 : 전남대학교 공과대학 신소재공학부(박사과정)



김정호 (Jeong-Ho Kim)

- 1998. 3 : 일본 오사카대학 전기공학과(공학박사)
- 2001. 2 : 창원대학교 공과대학 메카트로닉스공학부(조교수)
- 현재 : 한국광기술원 초정밀광학팀 (팀장/책임연구원)