

## 성형용 코어면 DLC 코팅에 의한 비구면 Glass렌즈 광학적 특성에 관한 연구

김현욱 · 차두환 · 이동길 · 김상석 · 김혜정 · 김정호<sup>†</sup>

한국광기술원 초정밀광학팀

☎ 500-779 광주광역시 북구 월출동 971-35번지

정상화

조선대학교 기계공학과

☎ 500-759 광주광역시 동구 서석동 375번지

(2007년 7월 25일 받음, 2007년 10월 2일 수정본 받음)

본 연구에서는 3 메가픽셀, 2.5배 줌 카메라폰 모듈용 비구면 유리렌즈 개발을 목적으로 실험계획법(DOE)을 적용하여 성형용 초경 코어의 연삭가공조건을 구하고, 이를 활용하여 비구면 Glass렌즈 성형용 초경합금(WC) 코어를 초정밀 연삭가공을 수행하였다. 또한 가공된 성형용 코어의 가공면 위에 이온증착법으로 다이아몬드상 탄소(Diamond-Like Carbon; DLC) 코팅을 수행하여 DLC 코팅이 성형용 코어의 형상정도(PV)와 표면조도(Ra)에 미치는 영향을 평가하였으며, 비구면 Glass렌즈를 동일한 조건에서 성형하여 성형 렌즈의 광학적 특성을 비교하여 성형용 코어면의 DLC 코팅 효과에 대하여 검토하였다.

주제어 : Diamond-Like Carbon (DLC), Molding core, Glass Mold Pressing (GMP), Aspheric glass lens, Tungsten Carbide (WC)

### I 서 론

최근 디지털 카메라와 카메라폰에 사용되는 모듈이 빠르게 소형화 및 고성능화 되고 있다. 따라서 원하는 광학적 성능과 소형화를 위해 구면 및 플라스틱 렌즈가 비구면 유리렌즈로 대체되고 있다.<sup>[1]</sup> 이러한 비구면 유리렌즈는 일반적으로 초경합금 성형용 코어를 이용한 고온 압축 성형방식으로 제작되어지는 바, 비구면 유리렌즈의 높은 광학적 성능을 위해 코어면의 초정밀 연삭가공 및 코어면 코팅기술 개발이 시급한 상황이다.<sup>[2-5]</sup>

특히, 유리렌즈 성형분야에서 성형용 코어면의 다이아몬드상 탄소(Diamond-Like Carbon; DLC) 코팅은 성형공정 시 Glass렌즈와 성형용 코어와의 이형성 향상 및 성형용 코어 수명향상을 위해 주목받고 있는 분야로써 DLC 고유의 성질이 고경도, 고탄성, 내마모성, 화학적 안정성을 가지기 때문에 다양한 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있으며, 산업분야에서 광범위하게 적용되고 있다.<sup>[6]</sup>

본 연구에서는 3 메가픽셀, 2.5배 줌 카메라폰 모듈용 비구면 Glass렌즈 개발을 목적으로 실험계획법(DOE)을 적용하여 연삭조건을 구하고, 연삭조건을 활용하여 초경합금(WC) 성형용 코어를 초정밀 연삭가공을 수행하였다. 현재 국내 Glass렌즈 양산업체에서 성형용 코어의 수명향상을 위하여 백금계열의 코팅이 주로 사용되고 있으나 최근 관련산업이 발달한 일본에서는 DLC 코팅이 사용되는 경향이 나타난다. 따라서 본 연구에서는 가공된 성형용 코어의 가공면 위에 이

온증착법으로 DLC 코팅을 수행하여 DLC 코팅이 성형용 코어의 형상정도(PV)와 표면조도(Ra)에 미치는 영향을 평가하였으며, 비구면 Glass렌즈를 동일한 조건에서 성형하여 성형 렌즈의 광학적 특성을 비교하여 성형용 코어면의 DLC 코팅 효과에 대하여 검토하였다.

### II. 실험방법

본 연구에서는 3 메가픽셀, 2.5배 줌 카메라폰 모듈에 사용되며 지름 4 mm(유효경 3 mm), 한면은 볼록 비구면, 반대면은 평면인 비구면 유리렌즈를 제작하였다. 볼록 비구면의 계수식은 다음과 같다.

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

여기에서, K(=-0.298)는 코닉 상수이고 A는 비구면 계수를 나타낸다.

비구면 유리렌즈 성형용 코어 가공을 위해 초정밀가공기(일본, Nachi 社, ASP01)를 사용하였다. 성형용 코어의 재질은 초경합금(WC, Co 0.5%)이고, 연삭가공에 사용된 공구는 다이아몬드 휠 #2000을 사용하였다. 초경합금의 연삭가공조건을 구하기 위해 실험계획법(Design of Experimental; DOE)을 사용하였다.<sup>[7,8]</sup> 연삭깊이, 이송속도, 주축회전속도 및 터빈회전속도를 인자로 2<sup>4</sup> 요인배치법을 적용하였다. 이때, 특성치는 연삭가공 후의 표면조도(Ra)를 사용하였다. 표면조도의 측정결과는 실험계획법 상용프로그램인 MINITAB을 이

<sup>†</sup> E-mail: kimjh@kopti.re.kr

Table 1. Grinding conditions of tungsten carbide (WC).

Grinding process	
Diamond wheel	#2000, Resin bond
Spindle speed	300 rpm
Turbine speed	30,000 rpm
Feedrate	0.25 mm/min
Depth of cut	0.1 $\mu$ m
Polishing process	
Diamond grain size	Rough : 2 $\mu$ m, Finish : 1 $\mu$ m
Polishing medium	Nylon

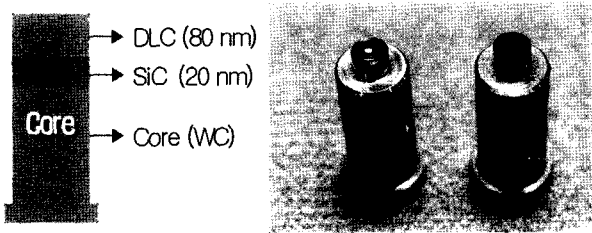


Fig. 1. Coating Film Structure and Coating Core for Molding.

용하여 분석하였다.

연삭가공조건을 사용하여 가공완료된 성형용 코어는 형상정도(PV) 및 표면조도(Ra)향상을 위해 비구면 폴리싱 가공기(일본, Kuroda 社, KRP-2200F)를 사용하여 폴리싱하였다. Table 1은 초경합금 성형용 코어의 연삭가공조건과 폴리싱가공조건을 나타낸다.

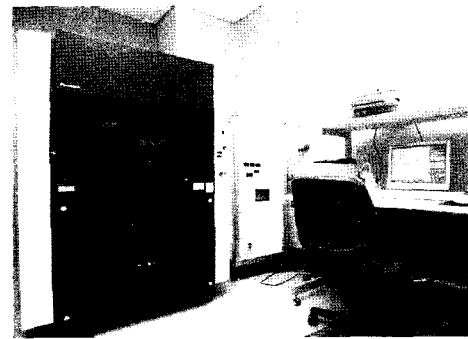
초정밀 연삭가공되어진 성형용 코어의 가공면에 이온 증착법으로 DLC 코팅(일본, Nanotech 社, NC400)을 수행하였다.<sup>[9]</sup> Fig. 1은 성형용 코어 코팅막 구조와 DLC 코팅된 성형용 코어를 나타낸다.

비구면 Glass렌즈 성형을 위하여 GMP(일본, Sumitomo 社, Nano Press-S)를 사용하였다. 유리렌즈 소재는 전이점(Transformation point; Tg) 572°C, 항복점(Yielding point; At) 630°C의 열적특성을 갖는 K-BK7(일본, Sumita 社)을 사용하였다. K-BK7은 아베수 64.1, d 선에서 굴절률 1.51633의 광학적 특성을 나타낸다.

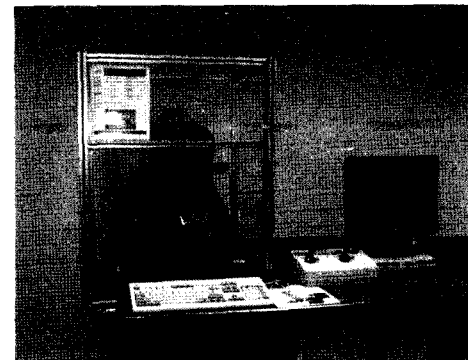
Glass렌즈 성형은 3단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 성형 Chamber내에 질소가스를 흘려준 후 성형용 코어와 유리렌즈 소재를 성형온도까지 가열한다. 두 번째 단계는 성형 및 서냉과정이다. 최적의 고온고압 조건에서 성형 후 서냉과정을 거친다. 서냉과정은 GMP(Glass Molding Press) 공정에서 잔류응력을 최소화할 위한 필수 단계이다. 또한 성형렌즈의 구면수차를 발생시키는 형상왜곡을 억제하고 전사성을 높이기 위해 가압이 동시에 이루어져야 한다. 세 번째 단계에서 냉각이 이루어지고 성형렌즈를 취출하게 된다. 본 연구에서는 DLC 코팅 전후의 성형용코어를 사용하여 비구면 유리렌즈를 각각 성형하였다. Table 2는 본 연구에서 사용한

Table 2. Optimal molding conditions of aspheric glass lens

Molding process	
Molding temperature	625°C
Pressing	200~800 N
Annealing process	
Annealing rate	2.0°C/sec
Re-pressing temperature	590°C
Annealing temperature	550°C



(a)



(b)

Fig. 2. Measurement equipment.

(a) Ultra High Accurate 3-D Profilometer

(b) Aspheric Surface Measurement System

비구면 유리렌즈의 최적성형조건을 나타낸다.

비구면 성형용 코어와 성형렌즈의 형상정도(PV) 측정은 측정물 표면에 손상을 주지 않으며, 측정물 표면 반사도에 영향이 없는 초정밀 자유곡면 3-D 형상 측정기(일본, Panasonic 社, UA3P)를 사용하였다.<sup>[10,11]</sup>

표면조도(Ra)는 3차원 표면조도 측정기(미국, Zygo 社, NewView5000)를 사용하였다. Fig. 2는 초정밀 자유곡면 3-D 측정기와 3차원 표면조도 측정기를 각각 나타낸다.

성형된 렌즈의 광학적 특성평가를 위해 투과파면수차(일본, Olympus 社, KIF-202T1-P55), 표면조도(미국, Zygo 社, NewView5000), 유효초점거리(독일 Trioptics 社, OptiCentric), 그리고, MTF[해상도](독일, Trioptics 社, ImageMaster Compact HR) 등을 각각 측정하고 비교 검토하였다.

### III. 결과 및 분석

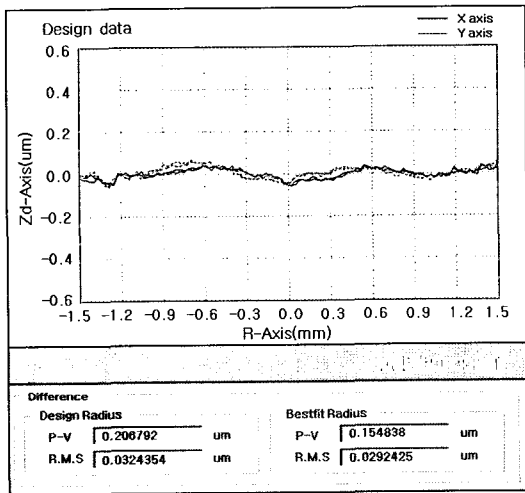
연삭가공조건을 활용하여 초정밀 연삭가공한 성형용 코어를 초정밀 자유곡면 3-D 측정기와 3차원 표면조도 측정기로 측정한 결과 형상정도(PV) 0.155  $\mu\text{m}$ (비구면)와 0.1  $\mu\text{m}$ (평면), 표면조도(Ra) 3.4 nm(비구면)과 1.9 nm(평면)의 결과를 얻었다.

성형용 코어의 가공면에 이온 증착법을 활용하여 DLC 코팅을 수행한 후 측정한 결과 형상정도(PV) 0.137  $\mu\text{m}$ (비구면)와 0.082  $\mu\text{m}$ (평면), 표면조도(Ra) 2.2 nm(비구면)와 1.5 nm(평면)의 결과를 얻었다. Fig. 3은 DLC 코팅 전후 비구면면 성형용 코어의 형상정도(PV)에 대한 측정결과를 각각 나타낸다.

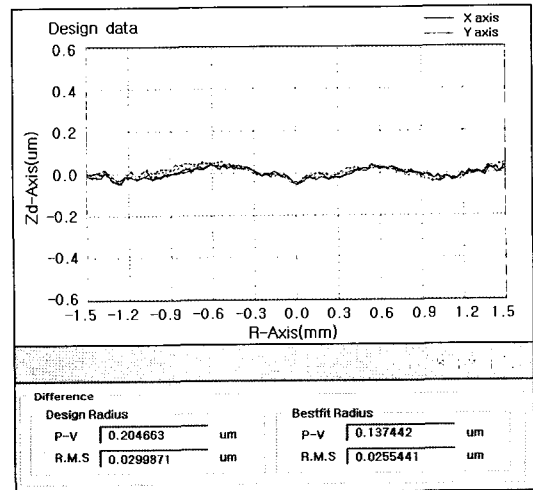
DLC 코팅 전후의 성형용코어를 활용하여 각각 성형한 비구면 유리렌즈의 형상정도와 표면조도를 측정하였다. 측정

결과 전자는 형상정도(PV) 0.187  $\mu\text{m}$ (비구면)와 0.161  $\mu\text{m}$ (평면), 표면조도(Ra) 3.0 nm(비구면)와 2.0 nm(평면)의 결과를 얻었다. 후자는 형상정도(PV) 0.171  $\mu\text{m}$ (비구면)와 0.141  $\mu\text{m}$ (평면), 표면조도(Ra) 2.6 nm(비구면)와 1.0 nm(평면)의 결과를 얻었다. 이는 성형용 코어의 전사성이 90~95%로서 본 연구에서의 비구면 유리렌즈 성형조건이 최적화로 판단된다. Fig. 4는 DLC 코팅 전후 비구면 성형용 코어를 사용하여 성형한 비구면 유리렌즈의 형상정도(PV)에 대한 측정결과를 각각 나타낸다. Table 3은 DLC 코팅 전후의 성형용 코어를 활용하여 성형한 비구면 유리렌즈의 측정결과를 나타낸다.

성형된 렌즈의 광학적 특성 측정결과, DLC 코팅된 성형용 코어를 활용하여 성형된 비구면 유리렌즈의 광학적 특성이 우수함을 알 수 있었다. Fig. 5는 DLC 코팅 전후의 성형용 코어를 활용한 비구면 유리렌즈의 투과파면 측정결과를 나타낸다.

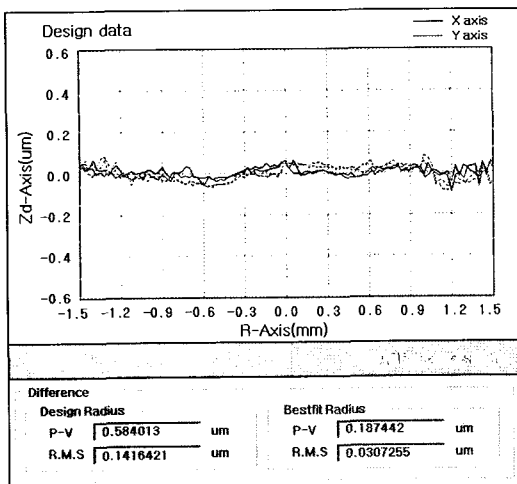


(a)

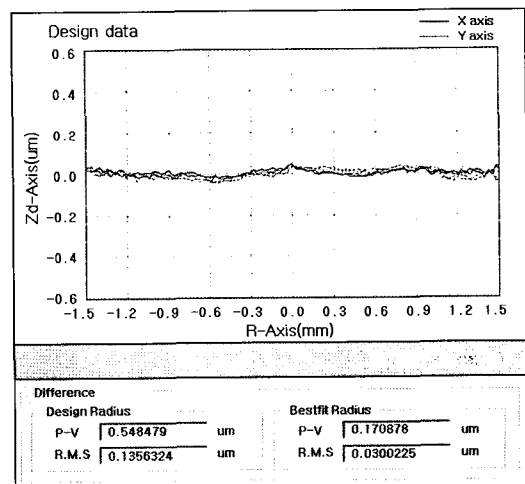


(b)

Fig. 3. Form accuracy of (a) non coated aspheric molding core, (b) DLC coated aspheric molding core.



(a)



(b)

Fig. 4. Form accuracy of aspheric glass lens molded by (a) non coated molding core, (b) DLC coated molding core.

Table 3. Measurement result of molding core and molded lens

		Non coating		DLC coating	
		Molding core	Molded lens	Molding core	Molded lens
PV :	Aspheric	0.155	0.187	0.137	0.171
	Form accuracy (μm)	Plano	0.100	0.161	0.082
Ra :	Aspheric	3.4	3.0	2.2	2.6
	Surface roughness (nm)	Plano	1.9	2.0	1.5
Wavefront aberration (PV: μm)			0.319		0.295
MTF[Contrast](%)			34.3 (Con.@80 lp/mm)		35.6 (Con.@80 lp/mm)
Effective focal length (mm)			5.646		5.647



(a)



(b)

Fig. 5. Wavefront aberration of molding lens by (a) non coated molding core, (b) DLC coated molding core.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 3 메가픽셀, 2.5배 줌 카메라폰 모듈용 비구면 유리렌즈 개발을 목적으로 실험계획법을 적용하여 성형용 초경코어의 연삭조건을 구하고, 이를 활용하여 초정밀 연삭가공을 수행하였다. 가공된 성형용 코어의 가공면 위에 이온증착법으로 DLC 코팅을 수행하여 DLC 코팅이 성형용 코어의 형상정도(PV)와 표면조도(Ra)에 미치는 영향을 평가하였으며, 비구면 Glass렌즈를 동일한 조건에서 성형하여 성형렌즈의 광학적 특성을 비교하여 성형용 코어면의 DLC 코팅 효과에 대하여 검토하였다.

성형용 초경코어면의 초정밀 연삭가공결과 형상정도(PV)는 0.155 μm(비구면)와 0.1 μm(평면), 표면조도(Ra)는 3.4 nm(비구면)와 1.9 nm(평면)인 반면, DLC 코팅을 행한 성형용 코어의 형상정도(PV)는 0.137 μm(비구면)와 0.082 μm(평면), 표면조도(Ra)는 2.2 nm(비구면)와 1.5 nm(평면)로 DLC 코팅으로 인해 성형용 초경코어의 형상정도(PV) 및 표면조도(Ra)가 향상됨을 알 수 있었다.

DLC 코팅 전후의 성형용 코어를 활용하여 각각 성형한 비구면 유리렌즈의 형상정도와 표면조도를 측정하였다. 측정결과 DLC 코팅 전 성형용 코어를 활용한 비구면 유리렌즈는 형상정도(PV) 0.187 μm(비구면)와 0.161 μm(평면), 표면조도(Ra) 3.0 nm(비구면)와 2.0 nm(평면)의 결과를 얻었다. DLC 코팅 성형용 코어를 활용한 비구면 유리렌즈는 형상정도(PV) 0.171 μm(비구면)와 0.141 μm(평면), 표면조도(Ra) 2.6 nm(비구면)와 1.0 nm(평면)의 결과를 얻었다. DLC 코팅 후의 성형용 코어를 활용한 비구면 유리렌즈의 형상정도(PV)

및 표면조도(Ra)가 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한 투과파면간섭계는 0.319 μm에서 0.295 μm로 향상되었고 MTF(해상도)는 34.3%에서 35.6%로 각각 향상됨을 알 수 있었다.

이상의 연구결과를 통하여 성형용 초경코어면의 DLC 코팅이 일반적으로 성형용 코어와 유리렌즈의 이형성 및 코어수명 향상은 물론 코어면의 형상정도(PV)와 표면조도(Ra)의 향상에 영향을 미침을 알 수 있었고, 형상정도와 표면조도의 향상이 비구면 유리렌즈의 광학적 성능 향상에 영향을 미침을 투과파면간섭과 MTF 측정결과를 통하여 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] Langis Michaud, Jean-Pierre Tchang, Céline Baril, and Jacques Gresset, "New Perspectives in Monovision-A Study Comparing Aspheric With Disposable Lenses," *International Contact Lens Clinic*, vol. 22, no. 90, pp. 203, 1995.
- [2] J. S Lee and K. Soyji, "A study on ultra precision machining for aspherical surface of optical parts," *Journa of the Korean Society of precision Engineering*, vol. 19, no. 10, pp. 195-201, 2002.
- [3] E. S. Lee and S. Y. Back, "A Study on optimum grinding factors for aspheric convex surface micro-lens using design of experiments," *International Journal of Machine tools & Manufacture*, vol. 47, pp. 509-520, 2007.
- [4] 김상석, 김현욱, 정상화, 김혜정, 김정호, "레이저 빔 프린터용 F-Theta Lens 개발", *한국전기전자재료학회 논문집*, 19권, 4호, pp. 386, 2006.
- [5] 김현욱, 정상화, 박용필, 김상석, 김혜정, 김정호, "비구

- 면 Glass 렌즈 성형용 초경합금(WC) 코어의 DLC 코팅 효과”, *한국전기전자재료학회논문집*, 19권, 11호, pp. 1050, 2006.
- [6] H. Hanyu, S. Kamiya, Y. Murakami, and Y. Kondoh, “The improvement of cutting performance in semi-dry condition by the combination of DLC coating and CVD smooth surface diamond coating,” *Surface and Coatings technology*, vol. 200, no. 14, p. 1137, 2005.
- [7] N. Alagumurthi, K. Palaniradja, and V. Soundararajan, “Optimization of Grinding Process Through Design of Experiment (DOE),” *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 21, no. 1, pp. 19, 2006.
- [8] N. Alagumurthi, K. Palaniradja, and V. Soundararajan, “Optimization of Grinding Process Through Design of Experiment (DOE),” *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 21, no. 1, pp. 19, 2006.
- [9] Technical Report of Nanotech Co. LTD, “Introduce of Nanotech,” *Nanotech Co. LTD*, 2005.
- [10] Hideki Tsutsumi, Keiichi Yosizumi, and Hiroyuki Takeuchi, “Presentation of Ultrahigh Accurate 3-D Profilometer and Case Examples of Measurement,” *Presentation of Matsushita Electronic Industrial Co. LTD*, 2002.
- [11] Keiichi Yoshizumi, Heishi Kubo, Hiroyuki Takeuchi, Koji Handa, and Takaaki Kassal, “Ultra Accurate 3-D Profilometer Using Atomic Force Probe Measure Nanometer,” *精密工學會誌*, vol. 68, no. 3, pp. 361, 2002.

### Optical Properties of Aspheric Glass Lens using DLC Coated Molding Core

Hyun Uk Kim, Du Hwan Cha, Dong Gil Lee, Sang Suk Kim, Hye Jeong Kim, and Jeong Ho Kim<sup>†</sup>

*Ultra Precision Optical Team, Korea Photonics Technology Institute (KOPTI), Gwang-Ju 500-779, Korea*

<sup>†</sup>*E-mail: kimjh@kopti.re.kr*

Sang Hwa Jeong

*Department of Mechanical Eng., Chosun Univ., Gwang-ju 500-759, Korea*

(Received July 25, 2007, Revised manuscript October 2, 2007)

In this research, the optimal grinding condition has been obtained by design of experiment (DOE) for the development of aspheric lens for the 3 Mega Pixel, 2.5x optical zoom camera-phone module. Also, the tungsten carbide (WC) mold was processed by the method of ultra precision grinding under this optimal grinding condition. The influence of diamond-liked carbon (DLC) coating on form accuracy (PV) and surface roughness (Ra) of the mold was evaluated through measurements after DCL coating using ion plating on the ground mold. Also, aspheric glass lenses were molded, some before DLC coating of the mold and some after the DLC coating. The optical characteristics of each sample, molded by the different molds, were compared with each other.