

## 레이저 빔 프린터용 F-theta Lens 개발

### Development of F-theta Lens for Laser Beam Printer

김상석<sup>1</sup>, 김현욱<sup>2</sup>, 정상화<sup>3</sup>, 김혜정<sup>1</sup>, 김정호<sup>1,a</sup>

(Sang Suk Kim<sup>1</sup>, Hyun Uk Kim<sup>2</sup>, Sang Hwa Jeong<sup>3</sup>, Hye Jeong Kim<sup>1</sup>, and Jeong Ho Kim<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

Global consumption of aspheric lens will expand rapidly due to global transformation of the electronics based industry to optics based mechatronics. Especially, F-Theta lens is one of important parts in Laser Scanning Unit(LSU) because it affects the optical performance of LSU dominantly. Non axisymmetric machine based processing technologies are required to obtain high accuracy in ultra-precision aspheric core, the most important component in plastic injection molded F-Theta lens assembly. In this study, the core with non-axisymmetric aspheric shape which is used to emit the F-Theta lens was processed using the ultra precision processing technology and the shape accuracy of the core was measured. And the results there of were evaluated and compared with the emitted shape accuracy of F-Theta lens.

**Key Words** : Laser scan unit(LSU), Aspheric surface, Non-axisymmetric aspheric

#### 1. 서론

비구면 렌즈시장은 전자제품의 기술방향이 종래 Meca-electronic에 Optics[1]가 추가되어 광학 제품화되는 추세에 힘입어 급격한 수요증가가 예측되는 시장이다. 광통신용 렌즈, 의료기기용 Micro 렌즈, Pick-up용 렌즈, Laser Printer용 Hologram 렌즈, 2 초점 비구면 렌즈, Sensor 렌즈, Display용 렌즈 등의 차세대 광학렌즈 시장은 IT 산업의 급속한 발전과 더불어 그 응용분야는 매우 다양하여 수요가 폭발적으로 증가할 것으로 예상되므로[2] 초정밀 가공 기술[3-7] 개발이 시급히 이루어져야 할 분야이다. 특히 대표적인 OA 기기의 하나인 레이저 빔 프린터(Laser Beam Printer; LBP)는 컴퓨터 출력기기로서 널리 보급되어 왔다. 따라서, LBP에 대한 소형화,

저가격화의 요구가 한층 심해져 가고 있고, 핵심부품인 광학계의 형태도 다양한 응용이 요구되고 있다. 광학계의 형태는 소형, 경량화 추세와 더불어 광학계의 취부조정이 용이할 뿐만 아니라 상의 뒤틀림이 작아진다는 장점을 활용한 비축대칭 비구면 광학계의 채용이 점점 증가하고 있는 추세이며, 광학성능을 향상시키기 위해 많은 관련 연구가 이루어지고 있으며, 이들에 대응하기 위해 LBP 내부의 광학부품에 대해서도 고정밀도화, 형상의 다양화 등이 강력히 요구되고 있다.

특히 레이저 프린터의 핵심부품 중 하나인 레이저 주사광학계(Laser Scanning Unit ; LSU)는 LD 모듈, 실린더 렌즈, 회전다면경, 주사광학계로 구성되어 있으며, 이중 특히 F-Theta 렌즈는 주사광학계의 핵심 광부품으로 레이저 프린트의 성능을 좌우하는 중요한 역할을 하는 광학렌즈로서 광학계의 소형, 경량화를 위해서 렌즈의 매수가 점점 삭감하는 추세로 2~3매의 F-Theta 렌즈에서 1매 구성의 렌즈로 바뀌고 있는 실정이다.

본 연구에서는 초정밀 가공기술을 이용하여 LBP와 디지털 복사기에 채택되고 있는 레이저 주사광학계(LSU)의 핵심 부품인 F-Theta 렌즈를 사출성형하기 위한 자유곡면 형상의 코어를 초정밀 가공하여

1. 한국광기술원 기술개발부 초정밀광학팀 (광주시 북구 월출동 971-35)  
2. 조선대학교 대학원 기계공학과  
3. 조선대학교 기계공학과  
a. Corresponding Author : kimjh@kopti.re.kr  
접수일자 : 2005. 11. 30  
1차 심사 : 2006. 2. 3  
2차 심사 : 2006. 2. 27  
심사완료 : 2006. 3. 2

형상정도(PV)를 측정하고 사출된 F-Theta 렌즈의 형상정도(PV)와 비교 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장비

금형가공 및 사출성형의 기술의 발달로 정밀한 플라스틱 비구면렌즈를 저가격으로도 대량생산 할 수 있게 되었고, 이에 따라 비구면렌즈의 채용빈도가 점점 확대되어가고 있다. 이러한 사출성형에 의한 비구면 광학부품의 제조에 있어서 가장 핵심은 성형/사출을 위한 비구면 렌즈 코어의 초정밀 가공 및 형상측정 기술개발이다.

본 연구에서는 주사광학계 F-Theta 렌즈의 코어를 가공하기 위하여 초정밀 자유곡면 가공기(일본, Nachi 社 ASP-30)를 이용하였다. 이 가공기는 3축 직교슬라이드와 주축을 갖추고 동시 3축 제어에 의해서 자유곡면 가공이 가능한 초정밀가공기이다. 초정밀가공기는 크린룸(Class 10,000)의 항온실 내에 설치되어져 환경온도를  $22\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하고 진동에 의한 영향을 피하기 위하여 특수 설계된 제진대 위에 설치하였다.

일반적으로 F-Theta 렌즈와 같은 자유곡면(비축 비대칭 비구면) 가공 방법은 공작물 형상이 축회전 대칭이 아니므로 공작물을 회전시켜서 가공하는 것이 곤란하다. 따라서 공작물은 구동시키지 않고 회전공구를 3차원 곡면에 따라서 이동시키는 것에 의해 요구하는 형상을 만든다. 즉, 좌우 방향의 이동되는 X축과 공구의 절입 방향의 이동을 하는 Z축에 의해 가공된다. 임의의 한 단면을 가공한 후 Y축을 일정량만큼 이동시켜 새로운 X, Z축의 동시 2축 제어에 의해 다음의 단면을 가공하는 것을 반복한다.

이것을 전면에서 반복함으로써 가공 정밀도 향상을 높게 되며 희망하는 표면 거칠기를 얻을 수 있다.

비구면 렌즈의 측정에 관하여서는 일반적으로 알려진 방법은 없고 각각의 목적별로 필요에 따라 측정기 및 측정방법을 개발해 사용하는 것이 일반적인 방법이다. 특히, 형상면이 비구면인 경우 Rank Taylor Hopson사의 Form-TalySurf(FTS)라는 장비를 사용하여 비구면의 형상을 측정하는 것이 가장 일반적이지만, 주사광학계 F-Theta 렌즈와 같은 비축 비대칭 비구면의 형상 측정은 Form-TalySurf(FTS) 장비로는 불가능하여 본 연구에서는 3차원 비구면 형상 측정장비(일본, Panasonic 社, UA3P)를 사용하였다.

본 연구에 사용된 초정밀자유곡면가공기(일본, Nachi 社, ASP-30)와 3차원 비구면 형상 측정장비를 그림 1과 그림 2에 각각 나타낸다.

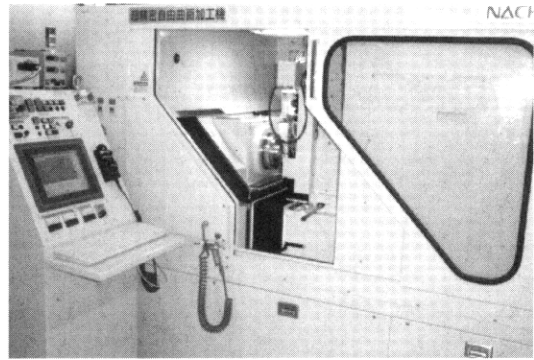


그림 1. 초정밀 자유곡면 가공기(Nachi 社, ASP30).  
Fig. 1. Ultra precision non-axisymmetric aspheric generator.

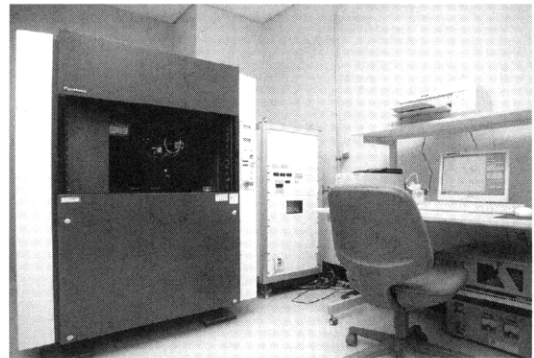


그림 2. 초정밀 자유곡면 3-D 형상 측정기(Panasonic 社, UA3P).  
Fig. 2. Ultra high accurate 3-D profilometer.

### 2.2 F-theta lens 금형가공 자유곡면식 설계

본 연구에서는 LSU용 F-Theta 렌즈 금형 가공을 가공하기 위해 자유곡면 설계식으로 부터 F-Theta 렌즈를 설계하였다. 설계식은 NC 프로그램에서 비구면 계수와 구면계수를 입력하여 가공경로를 결정하였다.

자유곡면 가공과정 중 제품에 직접적인 영향을 미치는 공정은 황삭가공 후 형상측정을 통해 형상오차 및 tool radius의 영향으로 인한 오차값을 평가하고 보정가공프로그램에 적용하여 가공하는 기술이다. 본 연구에서는 그림 3에 나타낸 바와 같은 공정을 통하여 황삭 및 중삭가공을 통해 형상오차 평가 및 보정가공 공정을 수행한 후 최종 정삭가공 및 평가를 수행하였다.

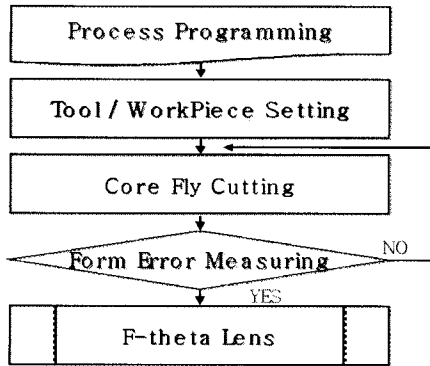


그림 3. F-theta 렌즈용 금형코어 가공공정.  
Fig. 3. Mold core fly cutting process for F-theta lens.

표 1. F-theta lens 코어 가공 조건.

Table 1. F-theta lens core cutting conditions.

Material	Stavax (Electroless Ni-Coated 100 $\mu\text{m}$ )		
NCD Bite	R(Tool Radius) : 4.95 mm (Natural Crystal Diamond Tool)		
Cutting Condition	Tool Spindle Speed (rpm)	Depth of Cut ( $\mu\text{m}$ )	Feedrate (mm/min)
Rough Cutting	6000	10	0.2
Semi-Finish Cutting	6000	5	0.2
Finish Cutting	6000	5	0.03

F-Theta 렌즈 금형코어의 초정밀 가공을 위한 최적가공조건을 표 1에 나타낸다.

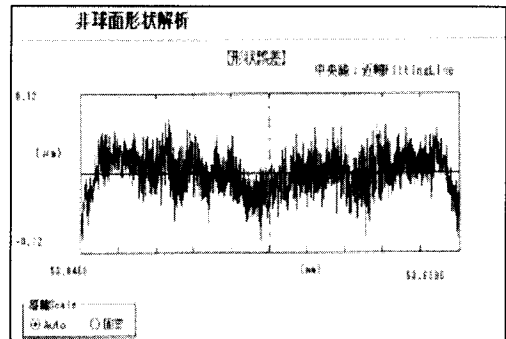
### 3. 결과 및 고찰

일반적으로 주사광학계 F-Theta 렌즈는 비구면 설계  $\rightarrow$  1차 가공(Stavax)  $\rightarrow$  초정밀 F/C 가공  $\rightarrow$  비구면 형상 측정  $\rightarrow$  금형조립  $\rightarrow$  사출성형  $\rightarrow$  렌즈 시제품의 공정으로 이루어지는바, 1차 가공연구 결과 표 2에 나타낸 바와 같이 황삭가공과 중삭가공을 통해 X축의 중심값 보정을 통해 X축에 대한 형상정도(PV)가 0.303  $\mu\text{m}$ 에서 0.266  $\mu\text{m}$ 로 향상되었고, 피치에 대한 가공조건이 일정하기 때문에 Y축 정도에 대한 변화는 없는 것을 알 수 있다.

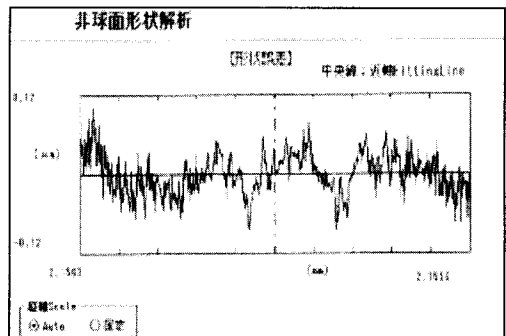
표 2. F-theta lens 코어 가공 결과.

Table 2. F-theta lens core cutting results.

		Rough Cutting ( $\mu\text{m}$ )	Semi-Finish Cutting ( $\mu\text{m}$ )	Finish Cutting ( $\mu\text{m}$ )
PV	X-Axis	0.303	0.266	0.179
	Y-Axis	0.808	0.980	0.184



(a) F-theta lens core X축 단면 가공의 P-V값  
(a) P-V value of F-theta lens core X axis cutting



(b) F-theta lens core Y축 단면 가공의 P-V값  
(b) P-V value of F-theta lens core Y axis cutting

그림 4. F-theta lens core 정삭 가공결과.

Fig. 4. F-theta lens core finish cutting result.

이상의 결과들을 통하여 본 연구에서는 정삭가공을 통해 X축에 대한 보정뿐만 아니라 Y축의 피치를 0.03 mm로 보정한 후 표 1에 나타난 가공조건으로 정삭가공을 수행하였으며 표 2에 그 결과를 나타내었다. 그림 4에 나타난 바와 같이 최종 정삭가공을

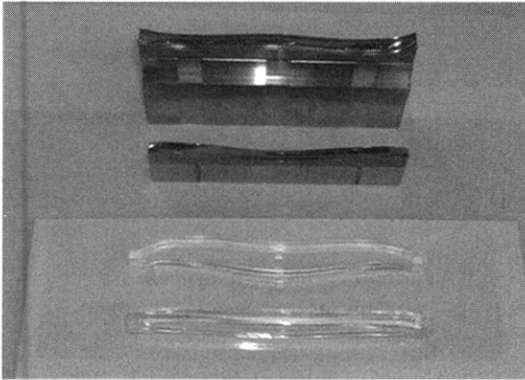


그림 5. F-theta lens와 금형코어.  
Fig. 5. Photo of F-theta lens and mold core.

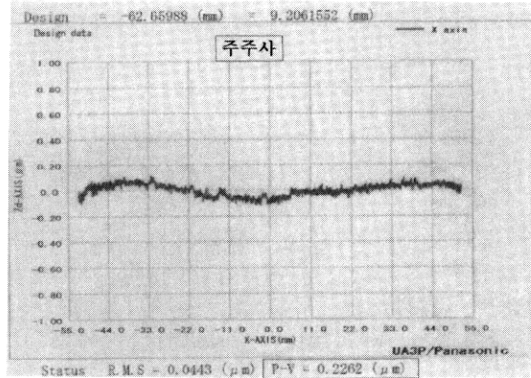
통해 형상정도(PV)가 X축 방향 0.179  $\mu\text{m}$ 와 Y축 방향 0.184  $\mu\text{m}$ 로 현저히 향상되었으며 이는 F-Theta 렌즈용 금형코어의 규격에 만족한 값이다. 그림 5와 그림 6은 최종가공 결과와 주사광학계 F-Theta 렌즈용 코어 사진을 각각 나타낸다.

그림 4에 나타낸 바와 같이 최종 정상가공을 수행한 F-Theta 렌즈 코어의 형상측정결과(PV)는 X축 0.179  $\mu\text{m}$ , Y축 0.184  $\mu\text{m}$ 으로 이 결과는 일반적으로 LSU에 채용되고있는 F-Theta 렌즈 양산용 금형코어 규격에 만족한 결과로 본 연구에 수행된 초정밀 가공조건 및 측정방법이 매우 유효함을 알 수 있었다.

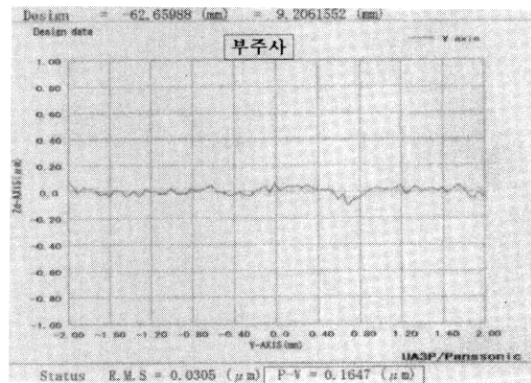
그림 5은 최종 가공된 금형코어와 사출성형하여 제작한 F-Theta 렌즈이다. 그림 6은 본연구에서 개발된 초정밀 금형코어를 활용하여 사출성형된 플라스틱 자유곡면 F-Theta 렌즈를 초정밀 자유곡면 3-D 형상 측정기(Panasonic 社, UA3P)를 이용하여 측정한 결과를 나타낸 것으로 형상정도(PV)가 X축 0.226  $\mu\text{m}$ , Y축 0.165  $\mu\text{m}$ 이었다. 이 결과로 X축 0.179  $\mu\text{m}$ , Y축 0.184  $\mu\text{m}$ 인 코어의 형상정도(PV)가 사출성형된 렌즈의 형상정도(PV)로 전사됨을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 초정밀 가공을 이용하여 LBP와 디지털 복사기에 채택되고 있는 레이저 주사광학계(LSU)의 핵심 부품인 F-Theta 렌즈를 제작하기 위하여 황삭, 중삭, 정삭의 초정밀가공을 수행하고 코어의 자유곡면 형상을 측정하였다.



(a) F-theta lens X축 단면의 P-V값 측정결과  
(a) F-theta lens X axis measurement result



(b) F-theta lens Y축 단면의 P-V값 측정결과  
(b) P-V value measurement result of F-theta lens core Y axis

그림 6. F-theta lens의 측정결과.  
Fig. 6. F-theta lens measurement result.

정상가공 후 형상정도(PV)가 X축 0.179  $\mu\text{m}$ , Y축 0.184  $\mu\text{m}$ 인 금형코어를 사출성형에 활용하여 플라스틱 F-Theta 렌즈를 제작하였고, F-Theta 렌즈를 측정한 결과 형상정도(PV)가 X축 0.226  $\mu\text{m}$ , Y축 0.165  $\mu\text{m}$ 의 결과값을 나타내었다.

이는 금형코어의 형상정도가 플라스틱 렌즈로의 전사성이 매우 우수함을 나타낼 뿐 아니라 코어 및 사출성형 렌즈 형상정도가 실제 양산제품의 규격 범위 이내의 정도로서 본 연구를 통하여 F-Theta 렌즈의 국내 양산기술의 발전에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] 西澤鉉一, OPTRONICS 10, p. 131, 1995.
- [2] L. Michaud, J.-P. Tchang, C. Baril, and J. Gresset, "New perspectives in monovision-A study comparing aspheric with disposable lenses", International Contact Lens Clinic, Vol. 22, No. 9-10, p. 203, 1995.
- [3] T. Kuriyagawa, M. Saeed, S. Zahmaty, and K. Syoji, "A new grinding method for aspheric ceramic mirrors", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 62, No. 4, p. 387, 1996.
- [4] R. Freimann, B. Dorband, and F. Holler, "Absolute measurement of non-comatic aspheric surface errors", Optics Communications, Vol. 161, Iss. 1-3, p. 106, 1999.
- [5] 김대중, 최철호, 박용필, 구할본, 김상석, 김정호, "열영상 광학계용 초정밀 AI 평면 미러의 설계 및 제작", 한국전기전자재료학회 2003추계학술대회논문집, p. 136, 2003.
- [6] 김병근, 이경섭, 정상화, 김상석, 김혜정, 김정호, "레이저 주사광학계용 F-theta 렌즈", 한국전기전자재료학회 2005하계학술대회논문집, p. 459, 2005.
- [7] D. Krulewich Born and W. A. Goodman, "An empirical survey on the influence of machining parameters on tool wear in diamond turning of large single-crystal silicon optics", Precision Engineering, Vol. 25, Iss. 4, p. 247, 2001.