<초청논문> ISSN 2288-3991(Online)

Laser Scanning Unit 용 FΘ 렌즈 개발

정인숙*† · 반민성* · 손광은* · 이병백*
* (주)신도리코 R&D 본부

Development of Ftheta Lens for Laser Scanning Unit

In-Sook Jeong*†, Min-Sung Ban*, Kwang-Eun Son* and Byoung-Bag Lee*
* R&D Center, Sindoh Co., Ltd

Key Words: LSU(Laser Scanning Unit), Ftheta Lens, High Precision Machining(초정밀가공), Plastic Injection Molding(플라스틱 사출성형), Field Curvature Correction(상면만곡보정)

초록: Fθ 렌즈는 레이저 프린터의 LSU(Laser Scanning Unit)의 중요 부품으로서 Fθ 렌즈를 통과한 주사빔의 상 위치는 주사빔의 렌즈 입사각에 비례한다. 본 논문에서는 당사에서 개발한 A4 사이즈용 Fθ 렌즈를 설계, 제작하고 보정하는 과정을 소개하였다. 렌즈 개발에서 광학설계는 Zemax 를 사용하였고 주사빔의 주주사방향 및 부주사방향의 왜곡을 최소화 하기 위하여 렌즈면은 특수한 토릭면으로 하였다. 렌즈 금형은 1nm 의 분해능을 갖는 초정밀 가공기로 제작하였다. 렌즈 사출 후 성능을 평가하고 측정값과 설계값의 차이를 바탕으로 설계보정식을 유도하여 렌즈 금형을 수정하였다. 금형 수정 후 사출렌즈의 재측정 결과 초기 설계값에 가까운 성능을 확인하였다.

Abstract: Ftheta Lens, whose image height is proportional to its field view angle, is one of the most important parts in Laser Scanning Unit(LSU). In this paper fθ lens design, mold production and modification method of lens design and mold are introduced. Lens design was carried out with Zemax and Special Toric surfaces were applied for lens surfaces to minimize distortion both in main and sub scanning directions. And a high precision machine with 1nm resolution was used to fabricate lens mold cores. After injection the lens was evaluated and the difference from design was examined. This difference was compensated by modifying lens design and new lens mold cores were made according to modified lens design to obtain the quality of original design

1. 서 론

레이저 프린터의 엔진이라고 할 수 있는 LSU 의 핵심 부품인 Fθ 렌즈는 회전다면경에서 편향된 빔을 광전도성 드럼상에 결상시킨다. LSU 의 저가화 및 고성능화가 요구되어짐에 따라, 최근의 경향은 Fθ 렌즈의 재질은 플라스틱을 사용하고 렌즈면은 주주사방향과 부주사방향이 다른 형상을 갖는 자유곡면이 사용되고 있다. 최근 금형가공의 초정밀화 및 사출성형기술의 발달로 비구면 플라스틱 렌즈를 저가격으로 대량생산할 수 있게 되었고, 이에 따라 비구면의 사용도 점점 확대되어 가고 있다. 그러나 플라스틱 렌즈의 경우 사출성형시 수축에 의한 변형이 생기고 사출성형 후 역시 온도 및 흡습성에 의한 굴절률과 렌즈형상의 변화가 생기기 쉽다. 정밀한 렌즈형상을 위해서는 고압의 사출조건이 요구되지만 Fθ 렌즈의 경우 복굴절이 없어야 하는데 복굴절을 최소화 하려면 반대로 저압의 사출조건이 요구되므로 사출렌즈의 형상 오차는 불가피하게 된다. Fθ 렌즈에서 자유곡면, 특히 부주사 방향에서 단 몇 μm 정도의 형상 오차도 상면만곡에 큰 영향을 주게 되므로 최적의 조건으로 사출한 렌즈라도 그 성능이 초기 설계값을 만족하는 것은 힘들다.

이 성능의 차이는 상면만곡 차이로 나타나고 이 차이는 초기 설계에서 상면만곡의 값을 앞서 구한 차

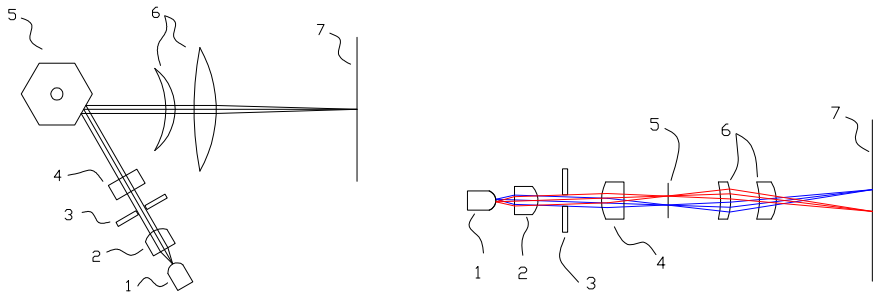
† Corresponding Author, insook@sindoh.com
ⓒ 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

이의 반대값으로 정하여 재설계함으로써 보정할 수 있다. 이 방법으로 재사출한 렌즈는 초기 설계값에 좀 더 유사한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

2. 렌즈 설계

Fig. 1 은 일반적인 2 빔 LSU 광학계이다. LD(1)로부터 광변조된 광속이 콜리메이터 렌즈(2)를 거치면서 평행광이 된 후 주주사방향(Fig. 1(a))으로 장형인 슬릿(3)을 통과한다. 슬릿을 통과한 평행광속은 정면의 부주사 방향으로 굴절능을 가지는 실린더 렌즈(4)를 통과한다. 이후 주주사 방향의 광속은 평행광으로 회전다면경(5)의 반사면에 입사한 후 fθ 렌즈(6)로 편향되고, 부주사 방향의 광속은 회전다면경의 반사면 상에 결상된 후(Fig. 1(b)) fθ 렌즈(6)로 편향된다. 회전다면경에 의해서 fθ 렌즈로 편향된 광속은 결상면상(7)에 부주사 방향으로 장축을 가지는 타원형 spot 으로 결상되며 이때 상고 y 는 f*θ의 값을 갖도록 설계하고 설계와의 차이 (y-fθ)x100%/fθ를 fθ특성(distortion)으로 정의한다.

이번 개발에서 Fθ 렌즈는 A4 사이즈 LSU 용으로 600dpi 를 목표로 설계하였다. Fθ 렌즈 중 1 번 렌즈의 1, 2 면은 주주사방향으로는 비구면형상(even aspheric)을 하고 부주사방향으로는 직선의 회전축을 갖는 Toric 면으로 하였다. 2 번 렌즈의 두 면은 주주사방향으로는 1 번 렌즈와 같은 비구면형상을 하지만 부주사방향은 회전축이 상고에 따라 변하는 형상을 갖는 Special Toric 면으로 설계하였다(Fig. 2). 렌즈 재질은 Topas 사의 5013LS-01, 시뮬레이션은 Zemax 프로그램을 사용하였고 Table 1 에 정리된 것과 같이 만족스러운 성능을 얻었다.



(a) Main scanning direction (b) Sub scanning direction

Fig. 1 Optical System of LSU

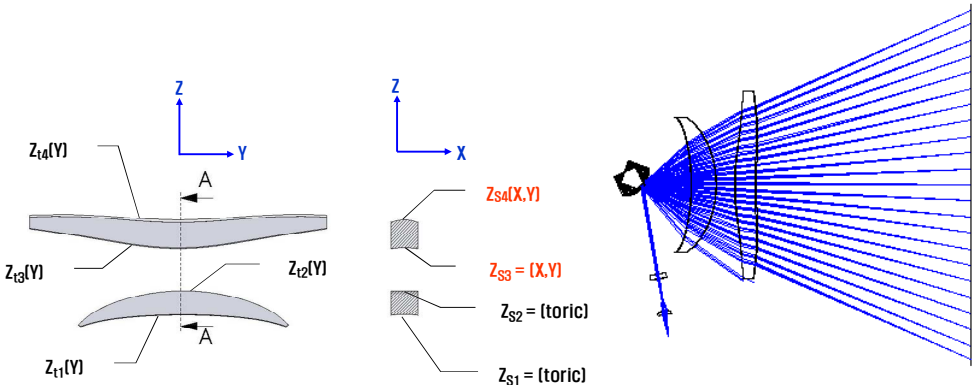
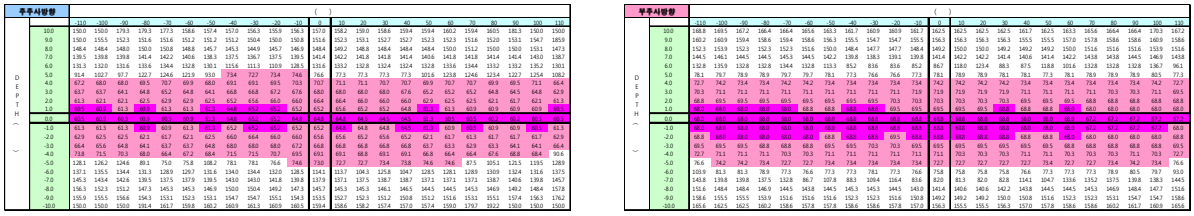


Fig. 2 Fθ Lens surface design and ray simulation

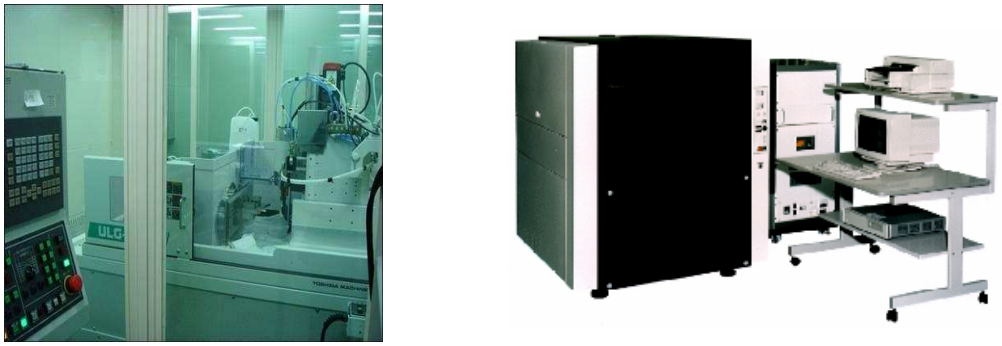
Table 1 Fθ Lens characteristics

Name	Unit	Value
Resolution	Dpi	600
Beam size (main scanning direction)	Mm	65 ± 2.5
Beam size (sub scanning direction)	Mm	68 ± 1.0
Effective Scanning Width	Mm	± 108
Focal Length ($f_{f\theta}$)	Mm	145.15
Fθ distortion	%	< ± 0.3
Field curvature	Mm	< ± 0.4
Depth of focus (main scanning direction)	Mm	± 4.0
Depth of focus (sub scanning direction)	Mm	+4.0 / -5.0



(a) Main scanning directin (b) Sub scanning direction

Fig. 3 Beam size chart



(a) ULG100D-F3 (b) UA3P-5A

Fig. 4 Lens mold core was made by using a diamond turning machine(a) and tested by a high accurate 3D profilometer

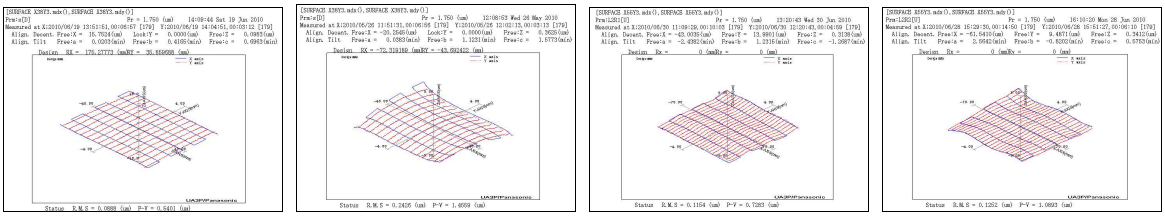
Fig. 3 은 드럼 상면을 기준으로 전후 10mm 범위, 상고 ± 110mm 영역에서 빔경을 정리한 차트이다. 상고 ± 108mm 영역에서 75μm 이하의 유효 빔경을 만족하는 초점심도는 주주사방향으로 드럼면에서 ± 4.0mm 내외, 부주사방향으로 +4.0/-5.0mm 를 만족하고 있다.

3. 렌즈 금형가공, 사출 및 측정

렌즈 금형 core 의 가공은 1nm 의 분해능을 가진 Toshiba machine 사의 초정밀 고속 가공기 ULG100D-F3 를 사용하였다. 제작된 core 면은 3nm 의 분해능을 가진 Panasonic 사의 UA3P-5A 를 이용하여 측정하였다(Fig. 4). Core 면의 측정 데이터와 설계 데이터 차이는 Fig. 5 와 같이 4 개 면 모두에서 1μm 내외로 매

우 우수하게 가공되었다.

렌즈 사출은 Sodick 사의 hybrid type 정밀 사출기 TR100EH2/TR140EH2 모델로 하였다(Fig. 6(a)). 비록 렌즈 금형 core 면은 설계면에 비하여 1μm 내외의 오차를 갖더라도 플라스틱 렌즈의 경우 사출 조건에 따라 큰 차이를 보인다. 최적의 사출조건을 찾기 위하여 Moldflow 프로그램을 활용하여 유동해석을 실시하고 해석결과를 반영한 몇 차례의 시도 후 최적의 사출조건을 선정하였다(Fig. 7). 유동해석 전과 후의 사출조건이 변화한 것은 Table 2 를 통해 확인할 수 있다.



(a) Surface 1 (b) Surface 2 (c) Surface 3 (d) Surface 4

Fig. 5 core surfaces' sags were measured and compared to designed values. The difference is about 1μm for all 4 surfaces

(a) TR100EH2 (b) Automatic beam size measurement system

Fig. 6 Injection molded lens was made by using TR100EH2(a) and its beam size was automatically measured(b).

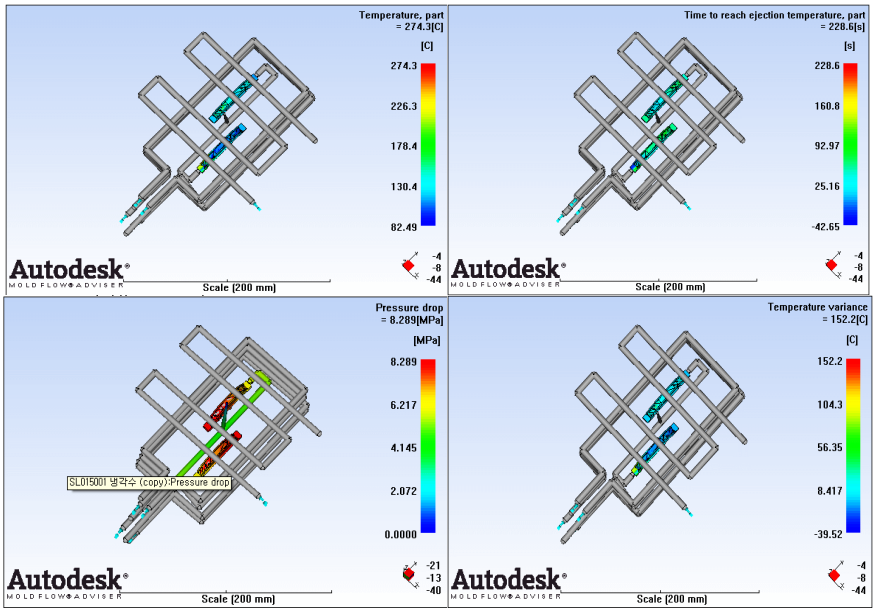


Fig. 7 Injection molding analysis with Autodesk Moldflow

Table 2 Injection molding process guide before and after Mold flow analysis

Cylinder Temp ˚ C	Z0	Z1	Z2	Z4	Z5	Z6	ZP	ZH			
Before Analysis	255	260	260	260	260	250	260	60			
After Analysis	255	260	260	260	**270**	**255**	**250**	60			
Screw position mm	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**S6**	**S7**	**S8**	**계량**	**suck back**	**Cushion**
Before Analysis	44	44	35	35	20	20	10	8	45	1	1.6
After Analysis	**55**	**50**	**45**	**30**	**20**	**20**	**15**	**8**	**65**	**3**	**1.72**
Injection Speed mm/s	**V1**	**V2**	**V3**	**V4**	**V5**	**V6**	**V7**	**V8**			
Before Analysis	10	10	10	10	10	5	5	5			
After Analysis	**15**	**15**	**15**	**15**	**8**	**8**	**8**	**8**			
Time s	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**	**T7**	**T8**	**filling time**	**cooling time**	**C/T**
Before Analysis	40	70	30	10	0	0	0	0	5.924	240	260
After Analysis	40	**60**	30	10	0	0	0	0	6.125	275	285
Injection Pressure kg/㎠	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**			
Before Analysis	800	700	600	500	0	0	0	0			
After Analysis	**900**	**800**	**700**	**600**	0	0	0	0			
Packing Speed mm/s	**PV1**										
Before Analysis	5										
After Analysis	**8**										
Back Pressure kg/㎠	**BP**										
Before Analysis	80										
After Analysis	**30**										

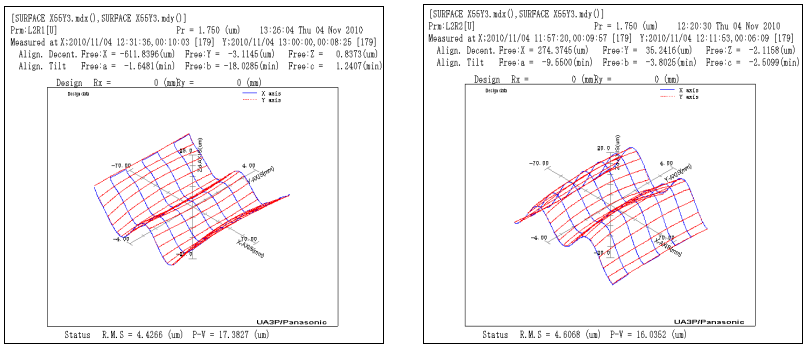
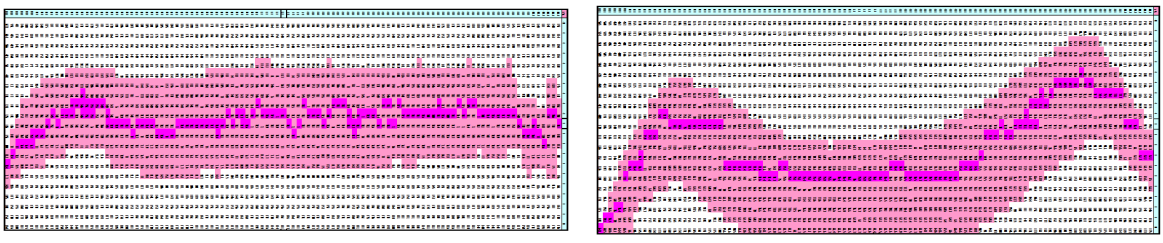


Fig. 8 UA3P Data of Injection molded lens. The sag difference from design is about 17μm.



(a) Main scanning direction (b) Sub scanning direction

Fig. 9 Ftheta Lens Beam map before mold core modification

실제 유동해석 전에 사출한 렌즈의 형상 오차는 최대 100μm 가까이 되었으나 해석결과가 반영된 사출조건이 적용된 렌즈는 20μm 이하의 오차를 보였다(Fig. 8). 이 정도의 형상 오차는 플라스틱 사출로서는 훌륭하지만 Fθ 렌즈에서는 수 μm 의 형상오차로도 상면이 심각하게 왜곡될 수 있다.

사출렌즈는 Nanoscan beam profiler 가 탑재된 자동 빔경 측정기를 사용하여 상고 ± 110mm 영역에서 2mm 단계로, 상면(드럼면) ± 10mm 의 영역에서 1mm 단계로 빔경을 측정하였다(Fig. 6(b)).

이렇게 얻은 빔경차트(Fig. 9)는 처음 설계 데이터(Fig. 3)에 비하여 심하게 상면이 왜곡돼 있었다. 플라스틱 렌즈 사출 자체의 한계 때문에 사출조건 개선만으로는 이 상면만곡을 개선하는데 한계가 있으므로 렌즈 설계를 변경하고 그에 따라 금형 core 를 수정하는 방법으로 접근하였다.

4. 상면만곡의 보정 및 결과

상면만곡의 보정은 다음과 같은 과정으로 진행되었다. 먼저 사출렌즈의 빔경맵에서 각 위치의 상면만곡 값을 얻은 후 상면만곡 설계값과의 차이를 구한다. 이 차이가 렌즈사출시 생기는 형상 오차 등에 의해 발생하는 값이므로 이 값의 반대값으로 상면이 위치하도록 설계를 변경해야 한다. 그러기 위해 차이값들을 연결하는 추세선의 근사식을 다항식 6 차항까지 구한 후 근사식 계수의 부호를 반대로 하는 곡선을 구한다. 각 상고에서 상면의 위치가 새로 구한 곡선 위의 값이 되도록 렌즈 설계 프로그램에서 목표값을 변경한다. 새로운 상면 목표값을 얻도록 렌즈 시뮬레이션을 하여 새로운 렌즈면 수식의 계수들을 얻는다. 재설계한 렌즈에서 상면만곡 값이 목표 곡면 위에 있는지 확인한다. 이 방법을 적용하여 렌즈를 재설계하였고 아래 그래프처럼 수정목표값에 가까운 값을 가진 상면만곡을 얻었다(Fig. 10).

그 후 재설계된 렌즈면 수식을 적용하여 금형 core 가공을 다시 하였고 재가공된 core 역시 재설계된 면과 1μm 이하의 형상 오차를 가짐을 확인하였다. 또한 재가공 전과 동일한 조건으로 렌즈를 사출하여 빔경과 상면만곡을 다시 측정하였다. Fig. 11 은 core 수정후 측정한 빔경이다. 수정전의 빔경 차트(Fig. 9)와 비교하면 상면만곡이 상당히 개선된 것을 볼 수 있다.

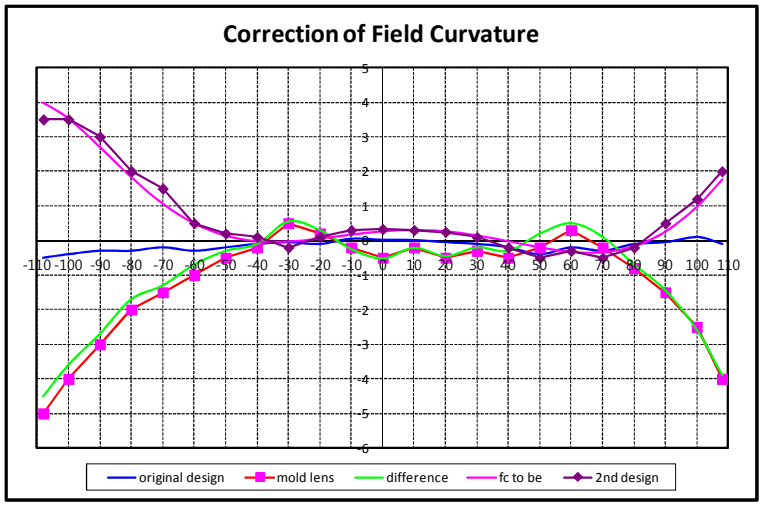
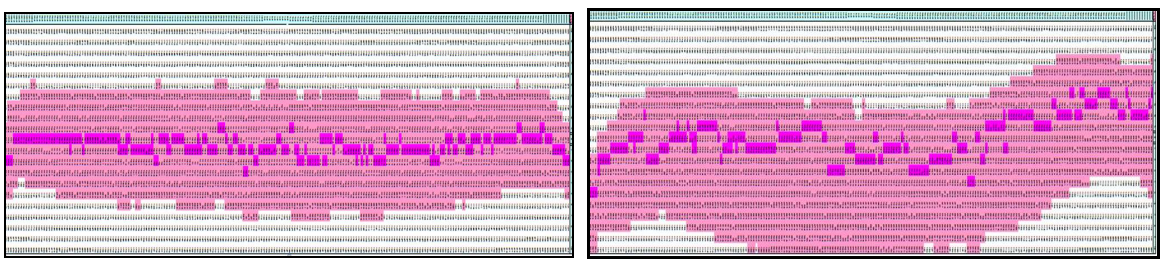


Fig. 10 Modification for Field curvature



(a) Main scanning direction (b) Sub scanning direction

Fig. 11 Ftheta Lens Beam chart after mold core modification

6. 결 론

본 논문에서 설계된 Fθ 렌즈는 플라스틱 사출성형의 어려움을 설계 변경을 통해 보상하는 방법으로 한 번의 수정만으로 상당히 개선되어 초기 설계 목표에 훨씬 근접하는 성능을 얻을 수 있었다. 이 방법은 수 μm 의 정밀도를 요구하는 자유곡면의 성능을 사출조건에만 의존하지 않고 만족시킬 수 있다는 점에서 의의가 있다. 이 렌즈를 사용하여 A4 사이즈 LSU 를 제작할 수 있었다. 이 기술을 바탕으로 A3 사이즈 LSU 개발도 용이할 것으로 기대하며 앞으로 다양한 렌즈의 제작 및 Laser 응용으로의 전개 역시 기대할 수 있다.

후 기

본 연구는 신도리코 레이저프린터의 LSU 자체개발 프로젝트의 일환으로 수행되었으며 개발에 도움을 준 신도리코 연구소 내 관련부서와 렌즈 금형가공 및 사출을 담당한 협력사에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

(1) Bass, M., 1995, Handbook of Optics, Vol. 1, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, pp. 1360~1372.
(2) Kwak, T.S., Ohmori, H. and Bae, W.B., 2004, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 21, No. 2, February 2004, pp. 27~34.
(3) Laikin, M., 2007, Lens Design, 4th ed., CRC Press, Boca Raton, pp. 245~252.