

Laser Scanning Unit용 광학계 설계

임천석

삼성전기(주) 종합연구소 광메카/광기기 팀

(1998년 12월 21일 받음, 1999년 1월 27일 수정본 받음)

레이저 프린터의 핵심부품 중 하나인 LSU(Laser Scanning Unit)를 구성하는 광학부품 및 각 부품들의 역할에 대해서 살펴보았고, 각 부품별로 기초설계를 한 후 Code-V를 사용하여 최적설계를 했다. 특히 $f\theta$ 렌즈 설계시 기존제품들을 비교·분석하여 설계에 반영했다. 본 논문에서는 LSU의 저가격화 및 소형화를 위해, 초점거리가 136 mm인 2매의 플라스틱 $f\theta$ 렌즈로 구성된 LSU용 광학계를 설계하였다.

I. 서 론

레이저 프린터에서 화상신호를 입력으로 받아서 광전도성 드럼상에 집속된 광을 주사하는 장치를 레이저 프린터 엔진 또는 LSU^[1-3]라고 한다. LSU는 입력된 화상신호(전기적인 ON/OFF 신호)를 콜리메이팅(collimating)된 광신호로 변환하는 LD(Laser Diode) 모듈, LD모듈로부터 출사되는 콜리메이팅 빔을 편향시키는 회전다면경(Polygon Mirror, PM), 고속회전하는 회전다면경의 동적인 기울어짐(wobble)에 의해 발생되는 주사선 흐름 및 주사간격 불균일성을 보정하기 위해 LD모듈과 회전다면경 사이에 위치한 실린더 렌즈, 회전다면경으로부터 편향된 빔을 광전도성 드럼상에 결상시키는 $f\theta$ 렌즈로 구성되어 있다.

LSU의 저가화 및 소형화가 요구되어짐에 따라, 각 부품들의 플라스틱화(LD모듈 Housing, 회전다면경, 실린더 렌즈, $f\theta$ 렌즈^[4-7]) 및 $f\theta$ 렌즈의 단초점화(185 mm → 136 mm), LD모듈 출사빔의 수렴광화가 진행되어지고 있다. 본 논문에서는 LSU의 소형화를 위해 $f\theta$ 렌즈의 초점거리를 136 mm로 설계하고, 저가화를 위해 플라스틱으로 구성된 2매의 $f\theta$ 렌즈를 설계한다.

II. LSU의 각 광학부품별 기초설계

그림 1은 LSU의 전형적인 예이다. LD(1)로부터 광변조된 광속이 콜리메이터 렌즈(2)를 거치면서 평행광이 된 후 주주사 방향(그림 1(a))으로 장형인 슬릿(3)을 통과한다. 슬릿을 통과한 평행광속은 정면의 부주사 방향으로 굴절능을 가지는 실린더 렌즈(4)에 입사하게 되고, 실린더 렌즈(4)를 통과한 후 주주사 방향의 광속은 평행광으로 회전다면경(5)의 반사면에 입사한 후 $f\theta$ 렌즈(6)로 편향되고, 부주사 방향의 광속은 회전다면경의 반사면상에 결상된 후(그림 1(b)) $f\theta$ 렌즈(6)로 편향된다. 회전다면경에 의해서 $f\theta$ 렌즈로 편향된 광속은 결상면상(7)에 부주사 방향으로 장축을 가지는 타원형 spot으로 결상되는 동시에 $f\theta$ 특성($(y-f\theta) \times 100\% / y$, y는 상고)을 만족한다.

다음 표 1에 본 논문에서 설계하고자 하는 LSU용 광학계의 개발요구 Spec.을 제시한다.

2.1. Laser Diode 모듈

Laser Diode모듈은 LD, 콜리메이팅 렌즈, 슬릿으로 구성되어 있다(그림 2참조). 본 설계에서 LD는 최대정격 출력이 5 mW인 ROHM사의 RLD-78PP를 사용하고, 콜리메이팅 렌즈는 초점거리가 8 mm이고 유효직경이 4.4 mm인 ASAHI社(旭光學)의 제품을 사용한다.

슬릿은 개발요구 사양중 빔경의 크기와 관계되는 부품으로써 다음과 같이 계산된다.^[8] LSU에서 빔경의 크기는 최대밝기 1로 규격화 했을 때 $1/e^2$ 의 밝기에 해당하는 빔폭으로 정의된다. 빔경과 슬릿직경(D)에 관한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{빔 경 } (1/e^2) = 2 \times 0.82 \times \lambda \times F / NO. \\ = 2 \times 0.82 \times \lambda \times (f/D) \quad (1)$$

주주사방향의 초점거리($f\theta$)가 136.0 mm이고 빔경($1/e^2$)이 65 μm 일때, 식 (1)로부터 주주사방향의 슬릿직경(D_{sc})을 계산하면 2.7 mm이다. 부주사방향의 슬릿직경(D_{su})은 부주사방향 초점거리가 아직 정해지지 않았으므로 $f\theta$ 렌즈를 설계한 후 계산하기로 한다.

LD모듈에 있어서 각 부품들을 취부하는 housing의 재료선택(플라스틱 또는 알루미늄)은 LSU내의 온도변화(+5°C ~ +50°C, 표 1참조)에 의한 결상면에서의 광학성능 저하와 밀접한 관계가 있다. LSU내의 온도 변화에 의한 LD 발광점의 위치변화는 결상면에서의 상점이동(광학성능 저하)으로 나타나므로, 확대율 $M_T = u/u' = (D/f_{COL}) / (D/f_{\theta}) = f_{\theta} / f_{COL}$ 이고, 종배율 $M_L = (M_T)^2$ 임을 고려하면 식(2)에 의해 표현된다(그림 3참조).

$$\Delta d_i = -(f_{\theta}/f_{COL})^2 \cdot \Delta d_o \\ = -(f_{\theta}/f_{COL})^2 \cdot (\xi \times \Delta T \times f_{COL}) \quad (2)$$

여기서 Δd_o 는 LD 발광점의 위치변화, Δd_i 는 결상면에서의 상점이동, f_{θ} 는 $f\theta$ 렌즈의 주주사 초점거리, f_{COL} 는 콜리메이팅

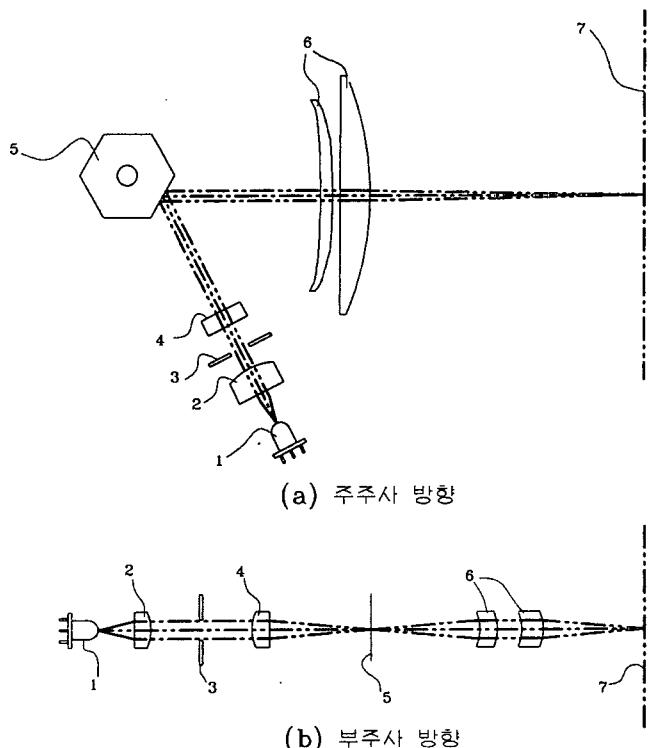
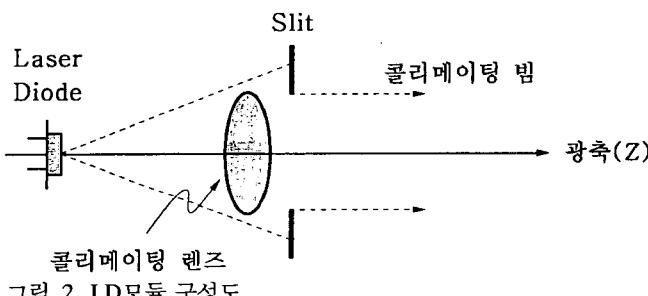


그림 1. LSU용 광학계의 전형적인 예.



렌즈의 초점거리, ξ 는 LD 모듈 housing의 선팽창계수, ΔT 는 LSU내의 온도변화량이다. LSU에서 온도가 $+25^{\circ}\text{C}$ 상승할 때 (기준온도 : $+25^{\circ}\text{C}$), 플라스틱(PC, PolyCarbonate) 및 알루미늄

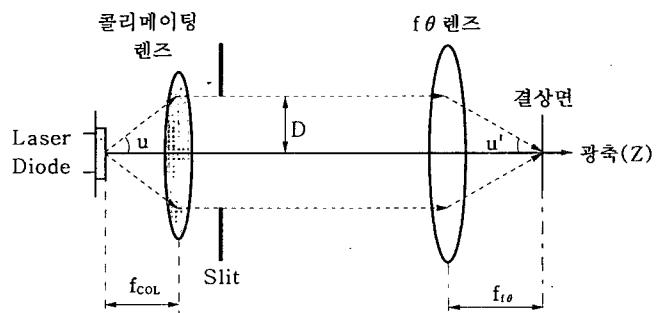


그림 3. 광원과 결상면과의 관계(주주사 방향).

의 경우 ξ 는 각각 $5 \times 10^{-5}/\text{mm} \cdot {}^{\circ}\text{C}$, $2.3 \times 10^{-5}/\text{mm} \cdot {}^{\circ}\text{C}$ 이므로 결상면에서의 상점이동량은 각각 -2.9 mm (플라스틱), -1.3 mm (알루미늄)이다. 가격적인 측면에서 플라스틱이 유리 하겠지만 결상점에서의 상점이동량이 큰 편이므로 본 논문의 설계에서는 알루미늄을 사용하여 온도변화에 따른 광학성능을 안정적으로 유지하도록 한다.

2.2. 회전다면경

LD 모듈 출사광의 중심광선과 회전다면경 반사면의 중심과는 일치하지 않고 약간 off-set(δ)되어 있다(그림 4). 그 이유는 회전다면경의 회전축이 반사면상에 있지 않고 일정거리 떨어져 있어서 반사면의 회전시, 반사면의 중심을 기준으로 볼때, 양쪽의 사용면적이 다르기 때문이다. 즉, off-set량(δ)만큼 회전다면경을 이동시켜주면 반사면 양쪽을 동등하게(효율적으로) 사용할 수 있다.^[9]

$$\delta = r \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \left[\frac{\cos\beta}{\cos(\beta+\alpha)} - \frac{\cos\beta}{\cos(\beta-\alpha)} \right] + \frac{D_{sc}}{2} \left[\frac{1}{\cos(\beta+\alpha)} - \frac{1}{\cos(\beta-\alpha)} \right] \quad (3)$$

$$\left[\frac{\cos\beta}{\cos(\beta+\alpha)} + \frac{\cos\beta}{\cos(\beta-\alpha)} \right]$$

여기서, r 는 회전다면경의 내접원 반경, α 는 $(1/4) \cdot \theta$, β 는 LD빔(콜리메이팅 빔)의 회전다면경 입사각, D_{sc} 는 주주사 슬릿직경이다. 표 2에서 r , α , β 는 각각 17.32 mm , 22.76° , 40° 이므로, 식 (3)으로부터 off-set량(δ)을 계산하면 1.9 mm 이다.

표 1. 개별요구 Specification

항 목	단위	개발요구 SPEC
해상도	DPI	600
주주사 빔경 ($1/e^2$)	μm	65 ± 15
부주사 빔경 ($1e^2$)	μm	80 ± 15
주주사 빔경편차	μm	20 이하
유효주사표 (총 주사각)	$\text{mm} ({}^{\circ})$	$\pm 108 (\theta = \pm 45.52^{\circ})$
주주사방향 초점거리(f_{θ})	mm	136.0
f_{θ} 특성	%	$\pm 0.5\%$ 이하
LASER WAVELENGTH	mm	$786.5 \pm 10/-15$
POLYGON MIRROR 면수	면	6
POLYGON MIRROR 내경	mm	$\phi 34.64 \pm 0.1$
사용온도	$^{\circ}\text{C}$	$+5^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$
LD BEAM의 PM 입사각(β)	$^{\circ}$	80°
실린더렌즈 ~ PM 반사점	mm	33.5 ± 2.0
PM 반사면 ~ 결상면 거리	mm	185 mm 이하

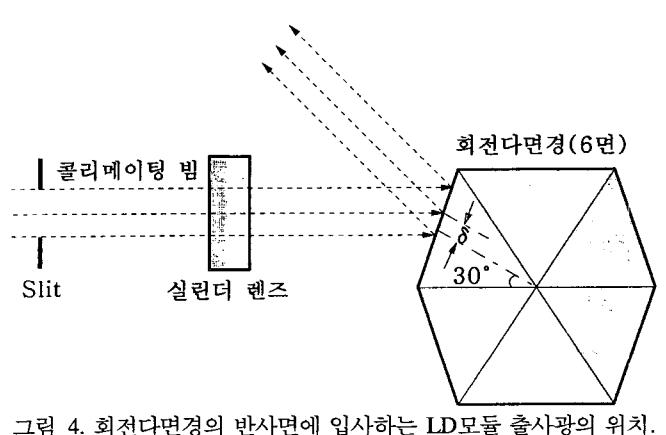


그림 4. 회전다면경의 반사면에 입사하는 LD모듈 출사광의 위치.

표 2. 特開平4-110817의 설계자료

면 수	곡률반경(mm)		두께 (mm)	비구면 계수 (A: mm ⁻³ , B: mm ⁻⁵)	굴절률 (PC계열)	면종류
	주주사	부주사				
1	-341.26	97.87	8.07	A = 2.32583 × 10 ⁻⁷ B = -1.59736 × 10 ⁻¹⁰	1.57467	Y-토릭면
2	-83.91	-59.19	12.55	A = -5.62618 × 10 ⁻⁹ B = -6.82987 × 10 ⁻¹²	Air	Y-토릭면
3	238.85	-17.61	7.81	A = -1.81103 × 10 ⁻⁶ B = 2.29302 × 10 ⁻¹⁰	1.57467	Y-토릭면
4	3617.04	-13.71	123.19	A = -1.49612 × 10 ⁻⁶ B = 9.82617 × 10 ⁻¹¹	Air	Y-토릭면

2.3. 실린더 렌즈

부주사 방향으로 회전다면경의 반사면과 광전도성 드럼면은 서로 공액관계에 있다(그림 1(b) 참조). 회전다면경의 반사면과 광전도성 드럼면을 공액관계로 만들기 위해 $f\theta$ 렌즈에 토릭면을 사용하지만, 실린더 렌즈와 $f\theta$ 렌즈의 토릭면간에 편심 또는 텔트가 발생하면 결상면상(광전도성 드럼면)에서 빔경에 치명적일 수 있으므로 가급적 실린더 렌즈 양면을 곡면화하는 것보다 한쪽면만 곡면화 하는 것이 편심 또는 텔트에 의한 광학성능 저하를 저감시킬수 있다. 본 논문의 설계에서는 LD모듈쪽의 실린더 렌즈면만 곡면화 시키기로 한다. 실린더 렌즈의 곡률반경값은 식(3)으로부터 구할 수 있다.

$$R_{cyl} = f_{cyl} \cdot (n - 1) \quad (4)$$

여기서, f_{cyl} 는 실린더 렌즈의 초점거리, R_{cyl} 는 실린더 렌즈의 곡률반경, n 는 사용매질의 굴절률($\lambda = 786.5$ nm기준)이다. 실린더 렌즈 재료로서 BK7을 사용하면 $R_{cyl} = 33.5$ mm · (1.511049 - 1) = 17.12 mm이다.

2.4. $f\theta$ 렌즈계

근래에 와서 성형재료의 개발, 금형가공의 초정밀화, 사출기술의 향상등에 힘입어 정밀한 비구면 플라스틱 렌즈의 사출성형이 가능하게 되었고, 이로 인하여 비구면 렌즈의 제조에 있어서 원가절감 및 생산성이 크게 향상되었다. 그러나 플라스틱 렌즈의 경우 사출성형시 수축에 의한 변형, 렌즈 내부의 기포, 복굴절, 이물등의 문제로 유리렌즈에 비해 제조하기 어려운 점이 있고, 사출성형후 온도 및 흡습성에 의한 굴절률과 렌즈형상의 변화가 유리렌즈에 비해 크므로(굴절률 변화는 약 60~100배, 선팽창계수 변화는 약 10배) 렌즈재료로써 플라스틱을 선택할때에는 세심한 주의가 필요하다. 광학용 플라스틱 재료로^[10-17]는 PMMA, 日立化成의 OPTORETZ, PC, 일본ZEON의 ZEONEX, 일본합성고무의 ARTON등이 주로 사용되어지고 있다. PMMA는 투명성 및 복굴절 특성이 우수하지만, 내열성이 낮고(열변형 온도 100°C) 고흡습성에 의한 형상, 굴절률변화가 큰것이 단점이다. PMMA의 결점을 개량하기 위해 분자설계된 OPTORETZ는 PMMA보다 우수한 저복굴절성, 저흡습성, 내열성을 겸비하고 있기 때문에 광학용 렌즈(CD, VD 플레이어, CD-ROM 드라이브), 카메라나 캠코드용의 각종 렌즈, 팩시밀리 기존의 대표적인 A4용

$f\theta$ 렌즈계(주사각 ±45°이상)는 플라스틱 1매로 구성되어져 있거나 글래스렌즈와 플라스틱렌즈 각 1매로 구성되어져 있다. 플라스틱 1매로 구성된 $f\theta$ 렌즈는 특수한 토릭면을 설계시 사용하므로 금형가공이 어렵거나(CANON社) 또는 렌즈볼륨이 큰 편이므로(RICOH社) 사출이 용이하지 않은것이 단점이다.^[18] 그리고 글래스와 플라스틱으로 구성된 2매의 $f\theta$ 렌즈는 글래스렌즈에 대부분의 굴절능이 분배되어져 있고 플라스틱 렌즈는 광학적으로 글래스렌즈의 보조적인 역할을 하므로 플라스틱 1매로 구성된 $f\theta$ 렌즈에 비해 환경특성(특히 온도특성)은 우수하지만, 렌즈가격이 비싼것이 단점이다. 본 설계에서는 특수한 토릭면을 사용하지 않는 플라스틱 2매로 구성된 $f\theta$ 렌즈계를 설계함에 의해 금형가공 및 사출성형이 용이하게 하고자 한다. 그리고 이상과 같은 $f\theta$ 렌즈를 설계하기 위해 최적화의 초기data로써 特開平4-110817을 선택한다(표 2참조).

LSU에서 온도변화에 의한 결상면에서의 상점이동(광학성능저하)을 일으키는 가장 큰 요인으로는 LD 발광점의 위치변화에 의한 콜리메이션 정도의 변화(2.1참조) 및 플라스틱 렌즈들의 초점거리변화이다. $f\theta$ 렌즈계로써 플라스틱렌즈 2매를 사용하므로 온도변화에 의한 결상면에서의 초점이동량($\Delta f_{f\theta}$)을 계산하여 보자.

$$\Delta f_{f\theta} \approx (dn/dT) \cdot \Delta T \cdot f_{f\theta}/(n - 1) \quad (5)$$

여기서 $f_{f\theta}$ 는 $f\theta$ 렌즈계의 초점거리, ΔT 는 온도변화, n 은 ZEONEX의 굴절률($\lambda = 786.5$ nm일때 $n = 1.52382$)이다.

ZEONEX의 온도변화에 따른 굴절률변화(dn/dT)는 $1.2 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 이므로(글래스의 경우 $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), 식 (5)로부터 온도변화가 25°C일때 결상면에서의 초점이동량은 0.78 mm(글래스의 경우 0.01 mm)임을 알 수 있다. 즉, $f\theta$ 렌즈계로서 글래스를 사용했을때 보다 플라스틱의 경우가 온도변화에 의한 초점이동량이 0.77 mm 더 발생한다.

III. LSU용 광학계의 최적설계

각 부품별 초기설계치를 가지고 미국 ORA사의 광학설계 프로그램인 CODE-V를 이용하여 최적설계를 했다. 최적설계란 초기 설계치에서 각 부품들간의 거리, 렌즈두께, 곡률, 비구면계수등을 변수로 두고 최소자승법에 의해 개발요구 스펙을 만족시키는 변수들의 값을 찾는 것이다. 본 논문의 최적설

계에서는 위에서 언급한 변수들만으로는 전 주사폭(± 108 mm)에 걸쳐 $f\theta$ 특성($\pm 0.5\%$ 이하)을 만족시킬 수 없어서 첫 번째 및 두번째 $f\theta$ 렌즈를 광축에 대해 각각 편심시켜 $f\theta$ 특성을 보정하였다. 그리고 부주사 방향으로는 최대 1.6 mm의 슬릿크기에 대해서 회절한계 이내로 수차를 보정할 수 있었고, 이때 주사각(θ) $\pm 45.52^\circ$ (주사폭 ± 108 mm에 대응)를 21등분해서 최적설계 했다.

LSU housing은 플라스틱 사출품이므로 휨 또는 수축에 의해 편심(decenter) 및 틸트(tilt)오차가 발생하기 쉽기 때문에, 이에 의한 광학성능 저하를 최소화 하기 위해 $f\theta$ 렌즈 설계시 적어도 한면 이상은 광축대칭적인 면(구면, 공축비구면)을 가지도록 최적설계하였다. 최적설계된 $f\theta$ 렌즈의 면구성은 제1면 즉 회전다면경쪽으로 향한 면이 공축비구면, 제2면, 제3면, 제4면은 주주사 방향으로 회전축을 가지는 비구면 토릭(Y-토릭)으로 구성되어 있다. 또 $f\theta$ 렌즈의 광축근방 형상은 주주사 방향으로 제1면부터 凹, 凸, 凸, 凹이고, 부주사 방향으로 제1면부터 凹, 凸, 凸, 凸으로 구성된 것을 특징으로 한다(그림 5참조). 다음에 공축비구면 및 Y-토릭면의 형상식을 나타내었다.

$$z = \frac{(x^2+y^2)/R}{1+\sqrt{1-(1+k)(x^2+y^2)/R^2}} + A(x^2+y^2)^2 + B(x^2+y^2)^3 + C(x^2+y^2)^4 \quad (6)$$

$$z_y = \frac{(y^2)/R}{1+\sqrt{1-(1+k)(y^2)/R^2}} + Ay^3 + By^6 + Cy^8 \quad (7)$$

$$z = \frac{(x^2-z_y^2)/R' + 2z_y}{1+\sqrt{(1-z_y/R')^2 - (x/R')^2}} \quad (8)$$

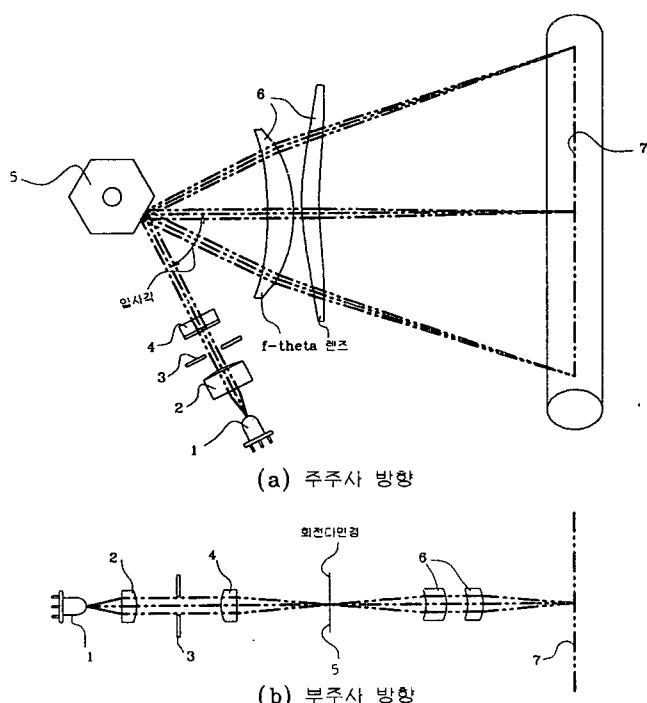


그림 5. 최적설계된 LSU용 광학계. (a) 주주사 방향, (b) 부주사 방향.

표 3. 최적설계된 LSU용 광학계

렌즈	면수	주주사 곡률반경 (mm)	부주사 곡률반경 (mm)	두께 (mm)	굴절률
실린더 렌즈	제 1면	∞	18.18	4.00	1.511049
	제 2면	∞	∞	33.50	—
주사렌즈	반사면	∞	∞	32.34	반사
	제 1면	-176.47	-176.47	12.00	1.52382
	제 2면	-66.95	-34.17	4.05	—
	제 3면	99.21	-27.79	8.00	1.52382
	제 4면	166.66	-15.77	128.66	—

주사렌즈의 비구면 계수

1면 : $K=17.49$, $A=9.534 \times 10^{-7}$, $B=-1.251 \times 10^{-9}$, $C=4.514 \times 10^{-13}$
2면 : $K=1.38$, $A=8.162 \times 10^{-7}$, $B=-5.404 \times 10^{-10}$, $C=9.309 \times 10^{-14}$
3면 : $K=0.53$, $A=-1.985 \times 10^{-6}$, $B=4.159 \times 10^{-10}$, $C=-4.135 \times 10^{-14}$
4면 : $K=-4.37$, $A=-1.354 \times 10^{-6}$, $B=2.826 \times 10^{-10}$, $C=-1.956 \times 10^{-14}$

식 (6)은 $f\theta$ 렌즈의 제1면 형상식(공축비구면)이고, 식 (7), 식 (8)은 $f\theta$ 렌즈의 제2면, 제3면, 제4면의 형상식(Y-토릭면)이다. 단, x , y 는 X, Y축상의 임의의 점(그림 5참조), z 는 비구면 토릭면의 임의의 점에서 XY평면 까지의 광축방향 거리(SAG량)를 나타내고, z_y 는 비구면 토릭면의 임의의 점에서 Y축 까지의 광축방향 거리, R 은 광축근방의 주주사 곡률반경, R' 은 부주사 곡률반경, K 는 원추곡면계수, A 는 4차의 비구면 계수(mm^{-3}), B 는 6차의 비구면 계수(mm^{-5}), C 는 8차의 비구면 계수(mm^{-7})를 나타낸다.

표 3에 개발요구 스페을 만족시키는 최적설계된 LSU용 광학계의 data를 제시한다(그림 5 참조). 표 3은 광원의 파장이 786.5 nm일때를 기준으로 설계되었고, 회전다면경 입사각(β)이 80° , 주사각(θ)이 $\pm 45.52^\circ$, LSU의 주주사 초점거리(f_{θ})가 136.0 mm, 부주사 초점거리($f_{\theta'}$)가 92.1 mm, 회전다면경의 off-set량(δ)이 2.0 mm로 설계되었다. 부주사 슬릿크기는 부주사 방향 범위의 개발요구 Spec.o 80 μm 으로, 식 (1)로부터 1.5 mm임을 알 수 있다.

표 3의 $f\theta$ 렌즈에 대한 상면만곡 및 $f\theta$ 특성, spot diagram은 각각 그림 6, 그림 7, 그림 8에 제시하였다. 상면만곡이란 광전도성드럼면과 광선추적에 의해서 계산된 결상점과의 광축 방향거리로써, 그림 6에서 보듯이 ± 1.2 mm이내로 잘 보정되어져 있고, 결상면에서 범의 위치가 주사각 θ 에 선형적으로

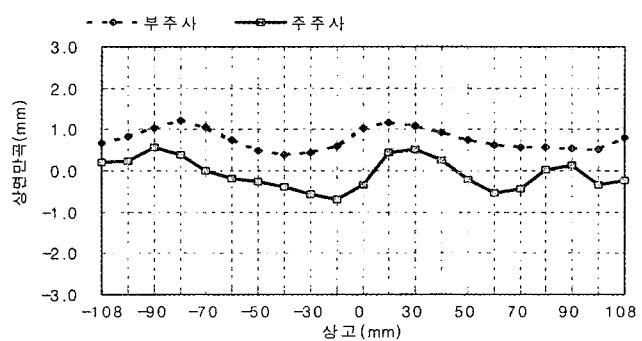


그림 6. 최적설계된 LSU용 광학계의 상면만곡.

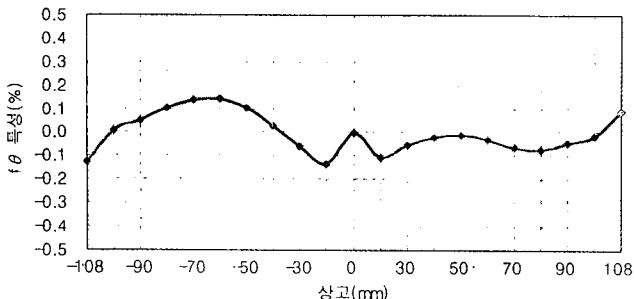
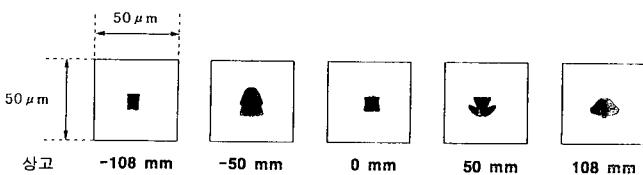
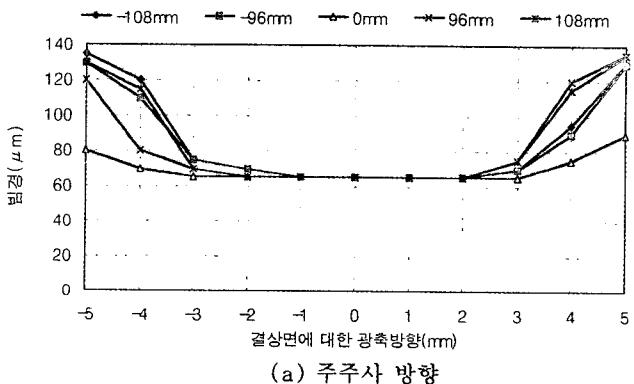
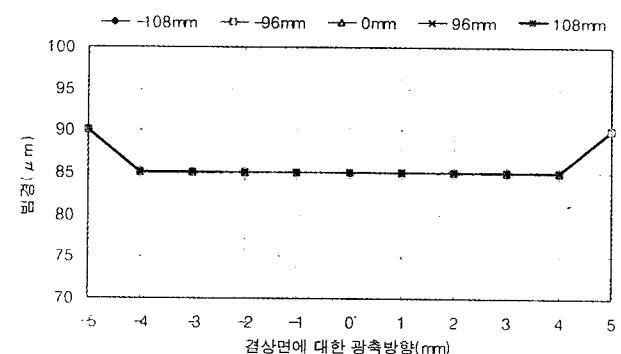
그림 7. 최적설계된 LSU용 광학계의 $f\theta$ 특성.

그림 8. 최적설계된 LSU용 광학계의 Spot Diagram.



(a) 주주사 방향



(b) 부주사 방향

그림 9. 최적설계된 LSU용 광학계의 Point Spread Function. (a) 주주사 방향, (b) 부주사 방향.

비례하는 정도를 나타내는 $f\theta$ 특성은 $\pm 0.3\%$ 내로 잘 보정되어 있다(그림 7참조). 그리고 spot diagram으로부터 ± 108 mm 상고내에서 회절한계 이내로 수차보정이 잘 되어 있음을 알수 있다(그림 8참조). 회절한계 이내로 수차보정이 되어 있는 광학계에서 빔경은 파동광학적으로 평가되어야 하므로 그림 9에 PSF(Point Spread Function)으로부터 계산된 주주사 및 부주사방향 빔경($1/e^2$)을 상면위치별로 나타내었다. 그림 9에서 보듯이 주주사 방향의 초점심도(DOF, Depth Of Focus)

표 4. LSU의 부품별 공차계산 항목

부 품	공차계산 항목	공차종류
LD	파장편차	단품공차
LD 모듈	콜리메이팅 정도	취부공차
LD 모듈 취부	편심 및 틸트	취부공차
	곡률반경	
실린더 렌즈	굴절률	단품공차
	두께, 편심 및 틸트	
실린더 렌즈 취부	편심 및 틸트	취부공차
	내접원 반경 편차	단품공차
회전다면경	면정도 편차	단품공차
	편심 및 틸트	취부공차
	Wobble	취부공차
	면형상 (곡률반경 및 비구면계수)	
$f\theta$ 렌즈	굴절률	단품공차
	두께, 편심 및 틸트	
$f\theta$ 렌즈 취부	편심 및 틸트	취부공차
커버 클래스	틸트	취부공차

는 ± 3.1 mm이고 부주사 방향 초점심도는 ± 5.0 mm 이상임을 알 수 있다.

IV. 공차배분

최적설계된 LSU용 광학계에 있어서 실제작의 가이드 라인을 제시하기 위해 각 부품별 공차를 계산해야 한다. 일반적으로 공차계산은 크게 단품공차와 취부공차(또는 기구를 공차)로 나눌 수 있는데 본 설계에서 계산된 공차항목을 표 4에 제시하였다.

모든 공차항목에 의해 발생할 수 있는 결상면에서의 상점변화량은 RSS(Root Sum Square)방법^[19]에 의해 계산되었고, 각 부품별 공차의 허용여부는 다음식 (9)에 의해 결정된다.

$$DOF > \sum_i \sqrt{(\Delta a)_i^2 + (\Delta b)_i^2} \quad (9)$$

여기서 $\sum_i \sqrt{(\Delta a)_i^2}$ 는 개개의 공차항목에 의해 발생되는 결상면에서의 상점변화량의 RSS값이고, Δb 는 온도변화에 의해 발생되는 결상면에서의 상점변화량이다.

계산된 결과가 식 (9)를 만족하더라도 플라스틱렌즈에 있어서 복굴절, 이물등 계산할 수 없는 공차도 있으므로 이를 고려하여 가능한한 여유분의 공차를 많이 확보하는 것이 바람직 하다. 본 설계에서는 식 (9)를 만족하도록 각 부품별로 공차배분 하였고, 현재 각 부품별로 제작중에 있다.

V. 결 론

본 논문에서 최적설계된 LSU용 광학계는 표 1의 개발요구 스펙을 잘 만족시키고 있다. 또 LSU의 저가격화를 실현하기

위해 LSU내의 핵심 광부품인 $f\theta$ 렌즈계를 플라스틱화 했고, $f\theta$ 렌즈계를 2매로 구성함에 의해 렌즈면 형상을 공축비구면 또는 Y-토릭면으로 설계할 수 있었고(금형가공이 용이), 두께도 각각 12 mm와 8 mm로(사출성형이 용이) 설계할 수 있었다. 그리고 공차계산에 있어서는 온도변화에 의한 결상면에서의 광학성능 저하까지 고려하여 설계요구 스펙이 만족되도록 각 부품별로 공차를 배분했다.

참고문헌

- [1] Robert E. Hopkins and D. Stephenson, Optical Scanning (Marcel Dekker) pp. 27~82, 1991.
- [2] Takanori Hisade, Takesuke Maruyame, et al., SPIE 1670, 404 (1992).
- [3] Mark Geslicki and Vinod Mirchandani, Laser Focus World, March, 167 (1996).
- [4] 特開平4-50908.
- [5] 特開平8-76011.
- [6] 特開平10-232347.
- [7] 特開平10-3051.
- [8] 早水良定, 光機器の光學 II(日本 オプトメカトロニクス 協會) pp. 492~495, 1988.
- [9] James E. Klein, SPIE 554, 468 (1985).
- [10] 内尾舜二, 光技術コンタクト, 36(4), 157 (1996).
- [11] 佐藤康浩, 光技術コンタクト, 34(4), 161 (1996).
- [12] 中西寛, 光技術コンタクト, 34(4), 177 (1996).
- [13] 田中日出男, 光技術コンタクト, 34(4), 189 (1996).
- [14] Sachio Yasufuku, IEEE 8(1), 7 (1992).
- [15] 青木修, 光技術コンタクト, 34(4), 169 (1996).
- [16] Charles N. Teyssier, Photonics Spectra, March, 105 (1996).
- [17] 河合宏政, 월간 전자기술, 3월호, 147 (1997).
- [18] 小瀬古久秋, 光技術コンタクト, 36(10), 43 (1998).
- [19] Donald G. Koch, SPIE 147, 71 (1978).

Optical system design for laser scanning unit

Cheon Seog Rim

*Opto-Mechatronics Team, Research & Development Center,
Samsung Electro-Mechanics, Suwon 442-743, Korea*

(Received December 21, 1998, Revised manuscript received January 27, 1999)

Laser Scanning Unit (LSU), which is one of the core parts of laser printer, consists of LD Module, cylinder lens, polygon mirror and $f\theta$ lens. After making an initial design on each part, we optimized the one which satisfies the user specification. The optimized optical system has diffraction limited performance for the slit size of 2.7 mm \times 1.6 mm, $f\theta$ characteristics less than 0.3% and field curvature less than 1.2 mm. We also calculate tolerance of each part based on RSS(Root Sum Square) method to manufacture LSU for mass production.