

600DPI용 플라스틱 $f\theta$ 렌즈가 실장된 Laser Scanning Unit 의 측정 및 평가

임천석

삼성전기(주) 종합연구소 광메카/광기기

(1999년 8월 9일 받음, 1999년 10월 4일 수정본 받음)

일반적으로 LSU(Laser Scanning Unit)는 LD모듈(Laser Diode, 콜리메이팅 렌즈, 슬릿), 실린더 렌즈, 고속회전하는 PM(Polygon Mirror), $f\theta$ 렌즈와 같은 광부품들과 이들을 취부하는 Housing으로 구성되어 있다. 먼저 본 논문에서는 당사에서 자체적으로 광설계된 LSU 시제품(試作品)을 측정/평가하기 위해 평가항목들에 관해 살펴 보았다. 당사에서 시제작된 LSU의 특징은 LSU의 핵심부품인 $f\theta$ 렌즈가 2단가압형 저압사출방식으로 제작되었다는 것이다. LSU의 평가항목들은 BSH(Beam Scan Head)를 LMC(Linear Motion Controller)위에 장착해서 비교적 간단히 측정할 수 있었고, 측정결과 600DPI(Dots Per Inch) 성능을 만족함을 확인할 수 있었다.

I. 서 론

자동차의 엔진과 같이 레이저 프린터의 핵심부품중 하나인 LSU^[1-2] (Laser Scanning Unit)는 LD모듈, 실린더 렌즈, 회전 다면경, 주사광학계로 구성되어 있다. 이중 특히 주사광학계는 LSU내의 핵심 광부품으로써 레이저 프린터의 성능을 좌우하는 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 주사광학계($f\theta$ 렌즈)로서 2개의 플라스틱 비구면렌즈를 사용한 LSU의 성능에 관해 살펴보고자 한다. 광학설계에 있어서 비구면의 사용은 광학계의 성능향상 및 매수감소의 효과를 가져왔지만 실제 비구면의 제조에 있어서는 구면렌즈보다 제작이 어렵고 높은 비용이 들기 때문에 비구면은 제한적으로 사용되어져 왔다. 그러나 금형가공 및 사출성형기술의 발달로 정밀한 플라스틱 비구면렌즈를 저가격으로 대량생산할 수 있게 되었고, 이에 따라 비구면의 사용도 점점 확대되어 가고 있다.^[3] 사출성형에 의한 플라스틱 비구면렌즈 제조에 있어서 가장 핵심은 렌즈형상을 정밀하게 유지하면서 사출성형시 발생하는 복굴절(파면수차 유발)을 저감시키는 것이다.^[4] 렌즈형상을 정밀하게 성형하기 위해서는 고압의 사출조건이 요구되지만 복굴절을 저감시키기 위해서는 반대로 저압의 사출조건이 요구되어 지므로 저복굴절을 가지는 정밀한 비구면렌즈를 제조하기 위해서는, 기존의 사출방법과는 다른 특별한 사출성형법을 필요로 한다(특히 $f\theta$ 렌즈에서 요구됨). 저복굴절의 정밀한 비구면 렌즈를 제조하는 대표적인 방법으로써 CANON사의 사출압축성형법과 RICO사의 게이트실(Gate Seal)성형법 및 리멜트(Remelt)성형법^[5]을 들 수 있는데, 이와 같은 사출성형법에 의한 렌즈제조는 새로운 설비투자과 고도의 사출 성형기술을 필요로 하는 어려움이 있다. 본 논문에서는 기존의 사출설비를 사용한 2단 가압형 저압사출방식에 의해 형상 정밀도는 고압사출방식에 비해 떨어 지지만 복굴절량은 현저히 감소시킨 600DPI(Dots Per Inch)용 플라스틱 $f\theta$ 렌즈를 보고한다.

그림 1(a) 및 표 1에 최적설계된 LSU광학계의 구성도 및 설계data를 제시하고, 그림 1(b)에 LSU사진을 제시한다. 그림 1(b)의 LSU사진에서 $f\theta$ 렌즈는 2단 가압형 저압사출방식에 의해 제조되었다. LD(1)로부터 광변조된 광속이 콜리메이터 렌즈^[2]를 거치면서 평행광이 된후 주주사방향(그림 1(a))으로 정형인 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 평행광

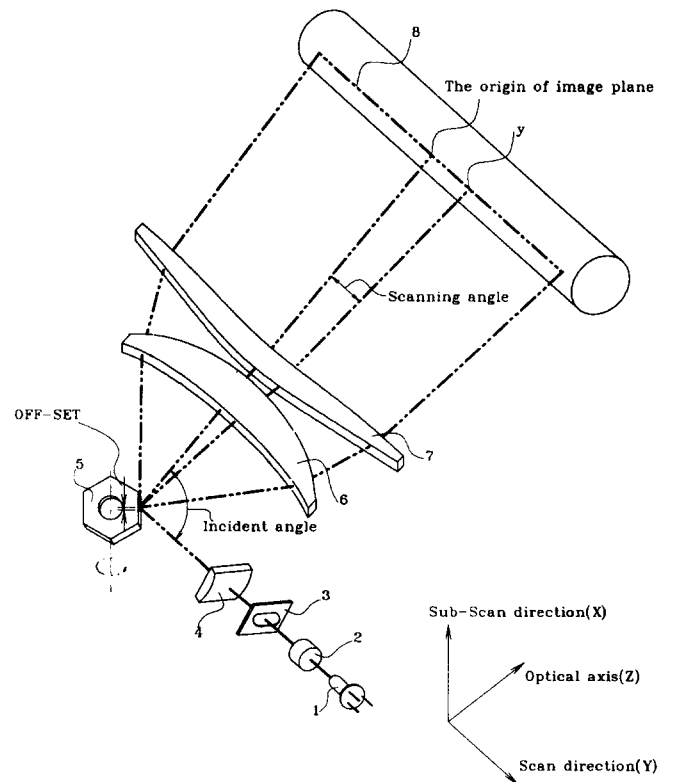


그림 1. (a) LSU용 광학계의 구성도, (b) 실제작된 LSU사진.

II. LSU에서의 평가항목

표 1. 최적설계된 LSU용 광학계

렌즈	면수	주주사 곡률반경 (mm)	부주사 곡률반경 (mm)	두께 (mm)	굴절률
실린더 렌즈	제 1 면	∞	18.18	4.00	1.511049
	제 2 면	∞	∞	33.50	-
회전다면경	반사면	∞	∞	32.34	반사
주사렌즈	제 1 면	-176.47	-176.47	12.00	1.52382
	제 2 면	-66.95	-34.17	4.05	-
	제 3 면	99.21	-27.29	8.00	1.52382
	제 4 면	166.66	-15.77	128.66	-

주사렌즈

1면 : K = 17.49, A = 9.564×10⁻⁷, B = -1.251×10⁻⁹, C = 4.514×10⁻¹³
 2면 : K = 1.38, A = 8.162×10⁻⁷, B = -5.404×10⁻¹⁰, C = 9.309×10⁻¹⁴
 3면 : K = 0.53, A = -1.985×10⁻⁶, B = 4.195×10⁻¹⁰, C = -4.135×10⁻¹⁴
 4면 : K = -4.37, A = -1.354×10⁻⁶, B = 2.826×10⁻¹⁰, C = -1.956×10⁻¹⁴

으로 회전다면경^[5]의 반사면에 입사한 후 fθ 렌즈^[6,7]로 편향되고, 부주사 방향의 광속은 회전다면경의 반사면에 결상된 후 (그림 1(b))fθ 렌즈^[6,7]로 편향된다. 회전다면경에 의해서 fθ 렌즈로 편향된 광속은 결상면^[8](광전도성 드럼)상에 부주사 방향으로 장축을 가지는 타원형 spot(?)으로 결상되는 동시에 fθ 렌즈특성을 만족한다.

LSU에서의 평가항목은 빔경, fθ 특성, Linearity, 주사경사(Skew)와 주사만곡(Bow), 주변광량비, Pitch Error, Jitter, 주사위치변위등이다.^[6-10] 이 중 pitch error, jitter, 주사위치변위는 fθ 렌즈에 의한 원인 보다는 회전다면경의 wobble(동적인 면 기울어짐) 및 회전속도의 불균일, 프린터내의 기구적인 문제가 주원인이므로 본 논문에서는 측정치 않는다.

2.1. 빔경

결상면(광전도성 드럼)에서 레이저 빔의 세기(intensity)가 최대세기의 1/e²로 감소하는 두 지점의 전폭이다(그림 2참조). 본 논문에서는 -108 mm ~ +108 mm의 주사폭을 10 mm간격으로 나누어서 측정한다.

2.2. fθ 특성

광전도성 드럼상에 결상되는 빔의 위치 등간격성을 나타내는 척도로서 다음과 같이 정의 된다(그림 1참조).

$$f\theta \text{특성} = \frac{y - f\theta}{f\theta} \times 100(\%) \tag{1}$$

여기서 y는 결상빔의 주주사방향 위치(상높이)이고 fθ(≡f×θ)는 이상적인 상높이(f는 fθ 렌즈계 주주사방향 초점거리, θ는 주사각)이다.

2.3. Linearity

같은 크기의 fθ 특성을 살리더라도 상높이 1 mm와 100 mm에서 실제 결상되는 빔의 위치오차(≡y-fθ)는 크게 차이가 난

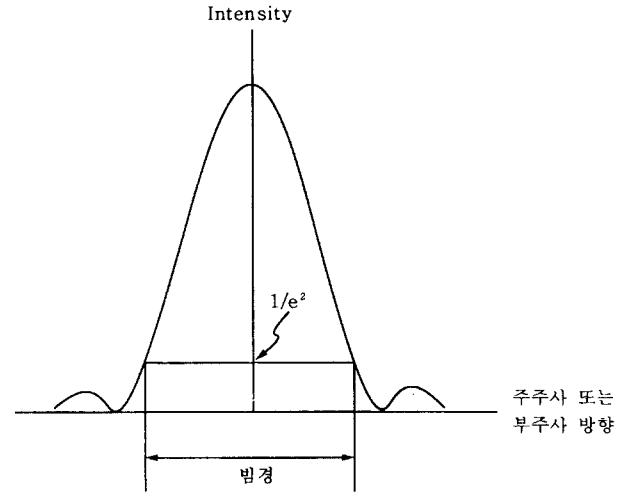


그림 2. LSU에서 빔경의 정의.

다. 즉 fθ 특성이 0.5%일 때 상높이(f×θ) 1 mm에서의 위치 오차는 0.005 mm이고 상높이(f×θ) 100 mm에서의 위치오차는 0.5 mm이다. 이것은 화상시험시 중심부와 주변부의 농담차이(contrast)로 나타난다. 그러므로 전 주가범위(-108 mm~+108 mm)에 걸쳐서 위치오차의 크기를 제한하기 위해 linearity를 도입하고 다음과 같이 정의한다.

$$\text{Linearity} = \frac{\Delta y - 25 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} \times 100(\%) \tag{2}$$

여기서 Δy는 θ와 θ+(2.5/f)에서 측정된 상높이의 차이이다.

2.4. 주사경사(Skew)와 주사만곡(Bow)

주사경사(skew)는 주사선의 기울기, 주사만곡(bow)은 주사선의 휘어진 정도를 나타내는 양이다(그림 3참조). 그림 3에서 알 수 있듯이, 주사경사(skew)는 유효주사폭의 끝단의 높이차로서 주사선의 기울기를 의미함, 주사만곡(bow)은 유효주사폭의 두 끝단(-108 mm, +108 mm)의 높이의 평균값과 주사중심점의 높이와의 차로써, 주사선이 휘어진 정도를 나타내 준다.

$$\text{Skew} = x_2 - x_1$$

$$\text{Bow} = x_0 - \frac{x_1 + x_2}{2}$$

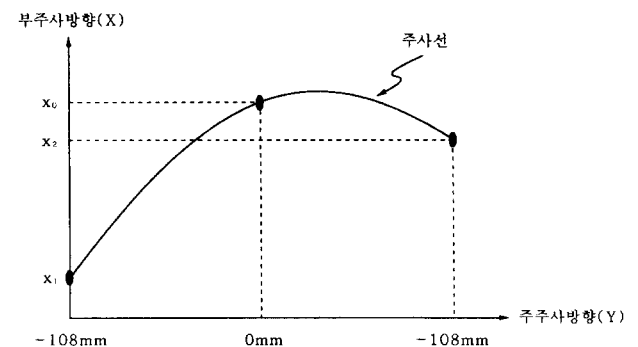


그림 3. 주사경사(Skew)와 주사만곡(Bow).

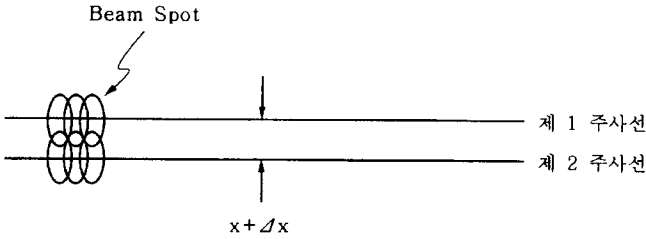


그림 4. 연속된 주사선 사이의 간격오차(Pitch Error).

2.5. 주변광량비

유효주사폭내의 각 위치에서 광 power의 변화량을 나타내는 항목으로써, 다음과 같이 정의 된다.

$$\text{주변 광량비} = \frac{\text{유효주사폭 주변부에서의 광 power}}{\text{유효주사폭 중심에서의 광 power}} \quad (4)$$

2.6. Pitch Error

연속된 두 주사선 사이의 간격의 오차를 의미한다(그림 4참조). 즉 이상적으로는 두 주사선의 간격이 x 가 되어야 하지만 주로 회전다면경의 동적인 기울어짐(wobble)에 의해 Δx 만큼 간격오차가 발생하게 되는데 이 오차량을 pitch error라고 한다. 일반적으로 pitch error는 인접 pitch error와 총합 pitch error로 나누어서 측정한다. 인접 pitch error는 회전다면경을 64회전시켰을 때 인접한 두 면의 위치오차중 최대값이고, 총합 pitch error는 인접 pitch error의 최소값과 최대값의 차이이다.

2.7. Jitter

회전다면경의 등각속도의 척도이다.

$$\text{Jitter} = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\text{mean}}} \times 100(\%) \quad (5)$$

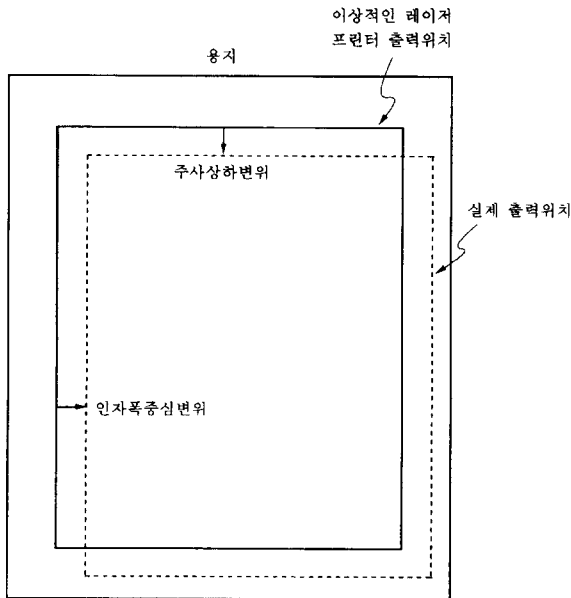


그림 5. 주사상하 변위와 인자폭 중심변위.

여기서 t_{\max} , t_{\min} , t_{mean} 은 주사시 빔스팟(beam spot)이 $\pm 108 \text{ mm}$ 와 같은 특정한 두 점을 통과하는데 걸리는 시간의 최대값, 최소값, 평균값이다. 만약 모터가 완전히 등각속도로 회전한다면, jitter는 zero가 된다. 일반적으로 jitter는 600라인을 기준으로 하며, jitter와 RF jitter로 나누어서 측정한다. jitter는 600라인 주사시 두 점간 통과시간의 최대값, 최소값, 평균값으로 jitter를 계산함, 이것을 1단위로 100단위를 측정한후, 그 중 최대값으로 정의한다.

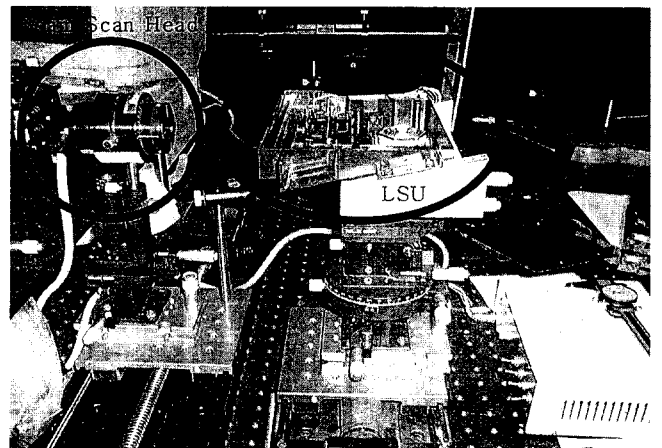
2.8. 주사위치 변위

주사위치 변위는 주사상하 변위와 인자폭 중심변위로 나누어서 정의한다(그림 5참조). 레이저 프린터상에서 출력시 주사선의 위치가 부주사 방향(용지쪽에서 보면 상하방향)쪽으로 원래의 이상적인 설계 위치와 어긋나게 되는데 이것을 주사상하 변위라고 하고, 주사선의 출발위치가 주주사 방향(용지쪽에서 보면 좌우방향)쪽으로 원래의 이상적인 설계위치와 어긋나게 되는데 이것을 인자폭 중심변위라고 한다.

III. 2단 가압형 저압사출방식의 fθ 렌즈가 실장된 LSU의 성능측정

LSU의 성능(빔경, fθ 특성, Linearity, 주사경사와 주사만곡, 주변광량비)은 광전도성 드럼상에 결상되는 빔을 LMC(Linear Motion Controller)위에 장착된 BSH(Beam Scan Head)로 측정한다(그림 6참조). LMC는 $-108 \text{ mm} \sim +108 \text{ mm}$ 의 주사폭을 선형적으로 움직이는 장치로써, 위치정밀도 $1 \mu\text{m}$ 이하로 작동된다. 본 논문에서는 AEROTECH사의 UNIDEX 500 모델을 사용했다. 광전도성 드럼상에 결상되는 빔의 크기 및 위치(주주사/부주사 방향)를 측정하는 장치인 BSH는 PHOTON사의 2180D 모델을 사용했다.

복굴절이 있는 렌즈를 투과한 빔은 파면수차(특히 비점수차)가 발생하게 되므로 결상된 spot 형상에 이상을 초래한다. 즉



Linear Motion Controller

그림 6. LSU성능평가를 위한 실험장치.

빔경이 커지고 사이드롭(Side lobe)이 발생하게 된다. 따라서 사출성형렌즈를 제조할 시에는 복굴절의 양을 최적화 할 필요가 있다. 플라스틱 사출렌즈에 있어서 복굴절은 재료고유의 복굴절(압력이 가해졌을 때 굴절률이 변하는 정도를 나타내는 광탄성계수에 의해 표현됨)과 사출성형시 발생하는 복굴절로 대별될 수 있다. PICK-UP용 대물렌즈에 있어서 올레핀계 수지(ZEONEX, ARTON)로 만든 성형품은 아크릴계 수지(PMMA, OPTOREZ)로 만든 성형품보다 2~4배 이상의 복굴절이 보고되고 있다.^[4] 올레핀계 수지의 광탄성계수는 카탈로그상에서 아크릴계 수지와 거의 같은 값을 가지므로 사출성형시 발생하는 복굴절양이 아크릴계 수지보다 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 올레핀계 수지가 가지는 저흡수성과 높은 열변형온도에 의해 렌즈로서의 내흡수성 및 내열성이 우수하므로 fθ 렌즈와 같은 엄격한 환경변화(온도: +5~+50°C, 습도: -30%RH ~ +85%RH)에 사용하는 목적에는 적합하다 할 수 있다. 따라서 이와 같은 복굴절 발생량을 억제·최적화하는 것이 내열·내습 렌즈개발의 열쇠라고 할 수 있다. 저복굴절을 가지는 정밀한 비구면렌즈를 제조하기 위해서는, 기존의 사출방법과는 다른 특별한 사출성형법을 필요할 한다(CANON사의 사출압추성형법과 RICOH사의 게이트 실(Gate Seal)성형법 및 리멜트(Remelt)성형법). 그러나 이와 같은 사출성형법에 의한 렌즈 제조는 새로운 설비투자과 고도의 사출성형기술을 필요로 하므로, 기존 사출설비와 기존 사출기술만 보유한 회사로써는 플라스틱 fθ 렌즈를 생산하기 어렵다. 본 논문에서는 기존의 사출설비를 사용하는 2단 사압형 저압사출방식에 의해 형상 정밀도는 고압사출방식에 비해 떨어지지만 복굴절양은 현저히 감소시킨 600DPI(Dots Per Inch)용 플라스틱 fθ 렌즈(재질: ZEONEX)를 보고한다.

빔경, fθ 특성, linearity, 주사경사와 주사만곡, 주변광량비의 측정결과는 그림 7에서 그림 10에 나타내었다. LSU에서 DPI(dots per inch)를 결정하는 주주사 및 부주사 방향의 빔경(1/e²)은 전 주사폭에 걸쳐 10 mm간격으로 측정했다(그림 7 참조). 그림 7에서 주주사빔경 및 부주사 빔경은 전 주사폭에 걸쳐서 각각 61~73 μm(평균빔경 : 65 μm, 빔경 편차 : 12 μm), 77~92 μm(평균빔경 : 85 μm, 빔경편차 : 15 μm)이고 600DPI성능을 잘 만족한다. 광전도성 드럼면상에 결상되는 빔의 주주사 방향 위치오차의 척도인 fθ 특성 및 linearity는 각각 -0.31~0.42% 및 -1.00~1.63%로 측정되었고, 이 값들은 600DPI용

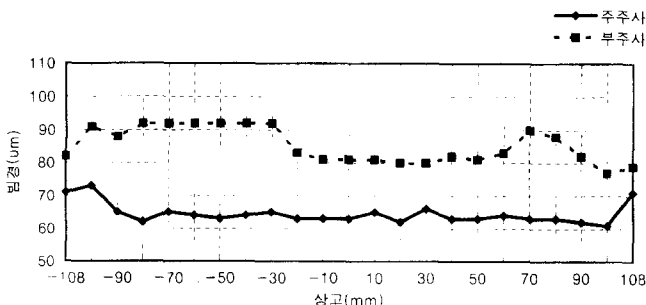


그림 7. 전주사폭에 걸쳐 측정된 빔경(a) 주주사 방향, (b)부주사 방향

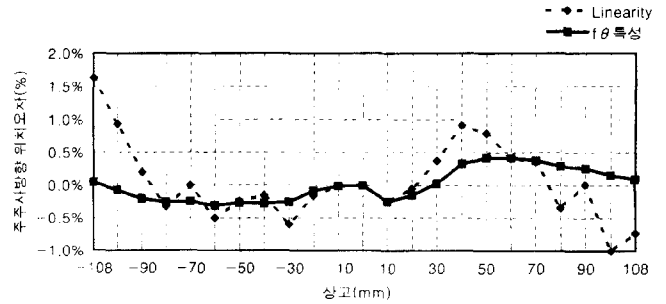


그림 8. LSU용 광학계에서 주주사 방향 위치오차의 척도인 fθ 특성 및 Linearity.

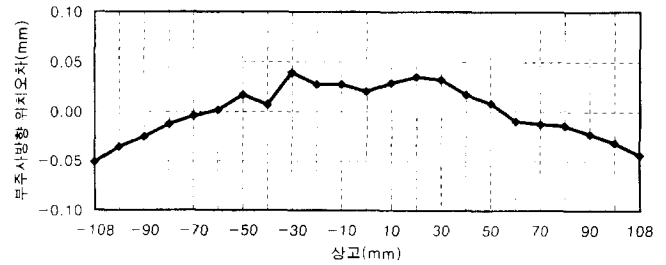


그림 9. LSU용 광학계에서 부주사 방향 위치오차의 척도인 Skew 및 Bow.

LSU에서 일반적으로 보이는 수치들이다(그림 8참조). 광전도성 드럼면상에 결상되는 빔의 부주사 방향 위치오차를 나타내는 주사경사(skew) 및 주사만곡(bow)은 그림 9에서 보듯이 각각 0.01 mm 및 0.07 mm로 측정되었고, 보통 600DPI성능의 LSU에서 0.5 mm이하가 스펙이다. 입사각 및 광원의 편광상태에 따라 회전다면경의 반사면에서의 반사율과 fθ 렌즈표면에서의 반사율이 달라지므로 광전도성 드럼면상에서 중심부와 주변부간에 광량차이가 발생하게 된다. 이것은 주변광량비로 표현되며 85%이상을 만족하면 되지만 그림 10에서처럼 89% 이상으로 측정되었다. 이상과 같이 LMC위에 장착된 BSH로 측정된 LSU평가항목 들로부터 600DPI성능을 잘 만족하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

고압사출성형된 플라스틱 fθ 렌즈에 있어서 가장 큰 문제는 렌즈내부의 복굴절에 의한 빔경열화이다. 렌즈내부의 복굴절

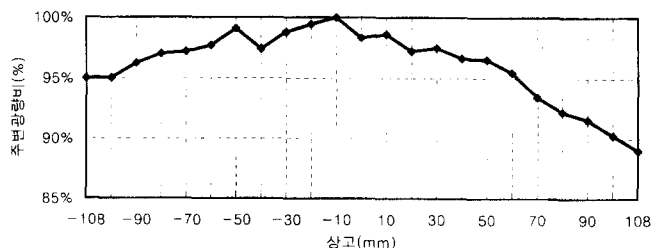


그림 10. 광전도성 드럼상에서 중심부와 주변부간의 광량차이(주변광량비).

은 주로 수지에 압력을 걸어서 충전할 때 발생하는 내부왜곡과 냉각시 금형표면과 용융된 수지내부와의 온도차에 의해 발생하는 내부왜곡이 가장 큰 원인이다. 그러므로 복굴절을 저감시키기 위해서는 금형설계시 최적의 냉각방식을 선택해서 가능한 한 저압으로 사출하는 것이 필요하지만, 정밀한 렌즈면을 성형하기 위해서는 고압의 사출조건을 필요로 하므로 일반적인 사출방식으로는 저복굴절의 정밀한 렌즈면을 성형할 수 없다. CANON사나 RICOH사의 사출압축성형법 또는 리멜트 성형법과 같은 특별한 사출성형법에 의해 저복굴절의 정밀한 렌즈면을 성형할 수 있지만, 새로운 설비투자와 고도의 사출기술을 필요로 하므로 기존 사출설비와 기존 사출기술만 보유한 회사로서는 플라스틱 $f\theta$ 렌즈를 생산하기 어렵다. 본 논문에서는 기존 사출설비를 사용하고 기존 사출기술을 응용한 2단 가압형 저압 사출방식에 의해 600 DPI용 $f\theta$ 렌즈를 제조할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 西澤 鉉一, OPTRONICS **10**, 131 (1995).
- [2] 中井 武彦, OPTRONICS **4**, 111 (1995).
- [3] T. Hisada, T. Maruyama, H. Inage, M. Deguchi and Y. Aiki. Proc. SPIE **1670**, 404 (1992).
- [4] 左*康浩, 光技術 **34**(4), 161 (1996).
- [5] 小瀬古久秋, 光技術 **36**(10), 43 (1998).
- [6] W. Lama, S. Feth and R. Loce, J. Imaging Tech. **15**, 130 (1989).
- [7] M. Maltz, J. Appl. Photog. Engr. **9**, 83 (1983).
- [8] R. R. Frith, D. Kessler, E. Muka, K. Naor and J. C. Owens, J. Imaging Tech. **14**.78 (1988)
- [9] Y. Miyake, S. Inoue, M. Inui and S., Kubo, J. Imaging Tech. **12**, 25 (1986).
- [10] J.C. Stoffel and J. F. Moreland, IEEE Trans. on Communication COM-29, 1898 (1981).

Laser scanning unit with plastic $f\theta$ lenses featuring high resolution

Cheon Seog Rim

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

(Received August 9, 1999, Revised manuscript received October 4, 1999)

We investigate the evaluation items of LSU (Laser Scanning Unit), such as beam size, $f\theta$ characteristics, linearity, skew and bow, optical power ratio between image height of 0mm and ± 108 mm, pitch error, Jitter and shift of printing position. Through the measurement of LSU using BSH (Beam Scan Head) installed on LMC (Linear Motion Controller) which moves linearly within the whole scanning range (-108 mm \sim $+108$ mm), we can ascertain plastic $f\theta$ lenses, which are manufactured by TVLP (Two-step Variable Low Pressure) molding method, to satisfy 600DPI(Dots Per Inch) performance.