

플라스틱 fθ 렌즈의 복굴절이 결상빔경에 미치는 영향분석

임천석

한국과학기술원 물리학과

(2000년 2월 28일 받음, 2000년 3월 27일 수정본 받음)

사출성형법으로 제조된 fθ 렌즈를 주사렌즈로 사용하는 Laser Scanning Unit의 주주사 및 부주사 방향의 빔경을 측정했다. 주주사 빔경의 경우 62 μm~68 μm로써 설계치와 유사한 성능을 보이지만 부주사 빔경의 경우 78 μm~115 μm로써 꽤 큰 빔경편차(37 μm)를 나타내었다. 사출성형렌즈에서는 냉각·고화시 수축에 의한 형상오차와 불균일 냉각에 의한 내부왜곡(복굴절)이 발생하게 되는데, 이는 결국 파면수차(빔경확대)를 발생시키게 되고 결국 레이저프린터의 화상열화로 나타나게 된다. 본 논문에서는 부주사 빔경편차의 주요인을 밝혀내기 위해 복굴절(편광비) 및 fθ 렌즈의 비구면 형상을 측정하였다. 그리고 측정된 비구면 형상치를 CODE-V(미국 ORA사의 광학설계 프로그램)에 입력하여 부주사 상면만곡을 계산하였고, 이와 설계 초점심도를 비교·분석함으로써 복굴절이 부주사 빔경편차의 주요인임을 알 수 있었다.

I. 서 론

근래들어 광학부품의 플라스틱화가 진행되어감에 따라, 이제까지는 글래스재료의 영역이었던 분야에도 플라스틱의 적용이 점점 많아지고 있다. 광학부품의 플라스틱화는 저코스트화, 저중량, 컴팩트화등 많은 장점을 지니고 있지만, 사출성형시의 복굴절 발생에 의한 광학성능저하가 크므로 사용시 세심한 주의가 필요하다. 플라스틱 렌즈의 경우 프레스압축성형, 사출성형(Injection Molding), 캐스트성형(Casting Molding)등의 각종 성형방법이 있지만, 일반적으로는 사출성형법으로 성형되는 것이 많다. 이것은, 금형만 제작할 수 있다면, 그 형상을 충실히 전사시키는 것에 의해, 비구면 렌즈의 성형이 용이한 것 뿐 아니라 연속다량 성형에 의해 저코스트 제품을 제조하는 것이 비교적 간단하기 때문이다. 사출성형이란, 금형에 용융수지를 고압으로 충전·가압하고, 냉각·고화한 후에 금형을 열어서 제품을 취출하는 것으로, 일반 플라스틱 잡화부터, 카메라렌즈의 경통과 같은 기계구조부품까지 다양하게 적용되는 성형법이다.^[1-4] 전술한 바와 같이 사출성형렌즈를 글래스렌즈와 비교할 때 가장 큰 차이점은 복굴절(내부왜곡)^[5-9]에 의해 광학성능이 현저히 저하되는 것인데, 사출성형렌즈에 있어서 관찰되는 복굴절은 크게 나누어서, 주로 금형표면에서 용융수지가 급냉각되는 것에 의한 냉각왜곡과 충전완료후, 형상전사성 향상과 냉각수축보전(補償)을 위해 고화중의 수지에 압력을 가할때 발생하는 전단(剪斷)왜곡의 2가지 요인에 의한 것이다. 이와같은 냉각왜곡 및 전단왜곡을 저감시키기 위해서는 수지의 냉각속도를 가능한 한 저감시킬 필요가 있다.

복굴절은 재료고유의 광탄성계수(압력이 가해졌을때 굴절률이 변하는 정도)와 사출성형시 발생한 왜곡의 크기에 의존하는 것이므로, 같은 수지라면 성형조건 및 금형구조에 따라 유기되는 복굴절 크기도 달라지게 된다. 일반적으로 사출성형된 플라스틱 렌즈에서의 복굴절은 렌즈의 성능을 저하시키는 수

차를 유발한다고 알려져 있다. 본 논문에서는 사출성형법에 의해 제조된 레이저 프린터용 비구면 fθ 렌즈에 유기된 복굴절이 빔경에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

II. 광학설계된 Laser Scanning Unit

자동차의 엔진(engine)과 같이 레이저 프린터 엔진이라고 불리는 Laser Scanning Unit(LSU)^[10-12]은 다수의 광학부품으로 구성되어져 있다. 그 구성부품들을 살펴보면 Laser Diode(LD), 콜리메이팅렌즈, 슬릿, 실린더렌즈, 고속회전하는 회전다면경(Polygon Mirror), fθ 렌즈 등으로 구성되어져 있고, 이중 특히 광학성능을 좌우하는 부품은 fθ 렌즈이다. 여기서 fθ 렌즈는 f(초점거리)×θ(주사각)의 결상특성으로 광전도성 드럼상에 빔을 주사하는 기능을 한다. 그림 1 및 표 1에 광학적으로 최적설계된 LSU의 구성도 및 설계data를 제시한다.^[13] 그림 1의 LSU는 LD(1)로부터 광면조된 광속이 콜리메이터 렌즈(2)를 거치면서 평행광이 된후 주주사 방향으로 장형(長形)인 슬릿(3)을 통과한다. 슬릿을 통과한 평행광속은 정면의 부주사 방향으로 굴절능을 가지는 실린더 렌즈(4)에 입사하게 되고, 실린더 렌즈를 통과한 후 주주사 방향(그림 1에서 +Y축방향)의 광속은 평행광으로 회전다면경(5)의 반사면에 입사한 후 fθ 렌즈(6,7)로 편향되고, 부주사 방향(그림 1에서 +X축방향)의 광속은 회전다면경의 반사면에 결상된 후 fθ 렌즈로 편향된다. 회전다면경에 의해서 fθ 렌즈로 편향된 광속은 결상면(8) 즉, 광전도성 드럼상에 부주사 방향으로 장축을 가지는 타원형 spot으로 결상되는 동시에 fθ 특성((y-fθ)×100%/fθ, y는 상고)을 만족한다.

다음에 상기의 최적설계된 LSU의 회절광학적인(Point Spread Function, PSF) 빔경(그림 2) 및 초점심도(Depth Of Focus, DOF) data(그림 3)를 제시한다. 본 논문에서 최적설계된 LSU는 회절한계내(diffraction-limited performance)로 수차가 보

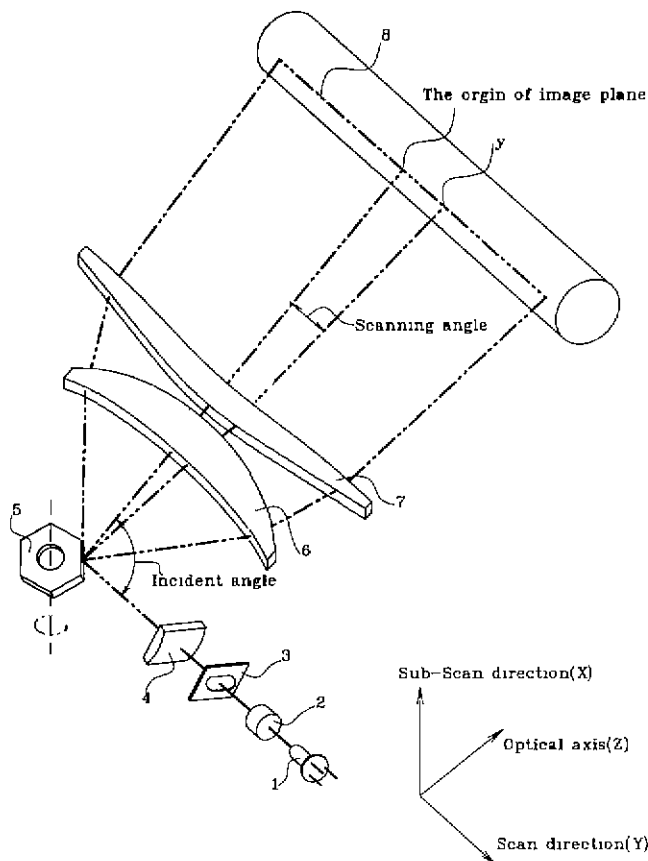


그림 1. 광학적으로 최적설계된 Laser Scanning Unit의 광로도. 여기서 광축은 +Z축방향, 주주사 방향은 +Y축방향, 부주사 방향은 +X축방향.

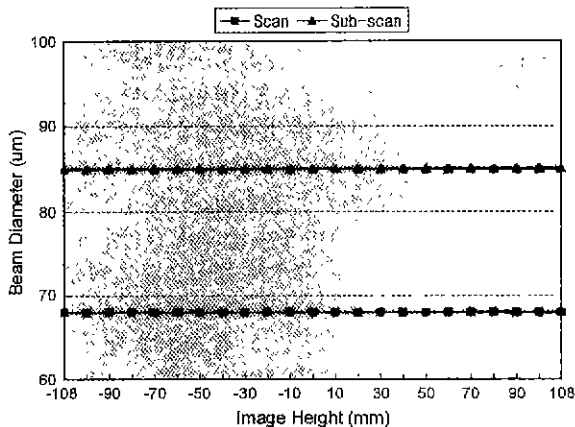


그림 2. 표 1에서 제시된 Laser Scanning Unit을 회절광학적(Point Spread Function, PSF)으로 계산한 빔경. 여기서 주주사 및 부주사 방향의 슬릿크기는 각각 2.6 mm, 1.4 mm이고, 빔경은 PSF의 Peak치(1로 normalization됨.) 대비 $1/e^2$ 이 되는 지점에서의 전폭으로 정의 되었다.

정되어 있으므로 그림 2에서 처럼 주주사 및 부주사 방향의 빔경은 전 상고구간에서 각각 68 μm , 85 μm 를 가진다. 그림 3의 초점심도도 회절광학적으로 계산되었고 주주사 방향의 경우 약 $\pm 3.5 \text{ mm}$ (빔경 및 빔경편차 Spec.: 65 μm , 20 μm)정도

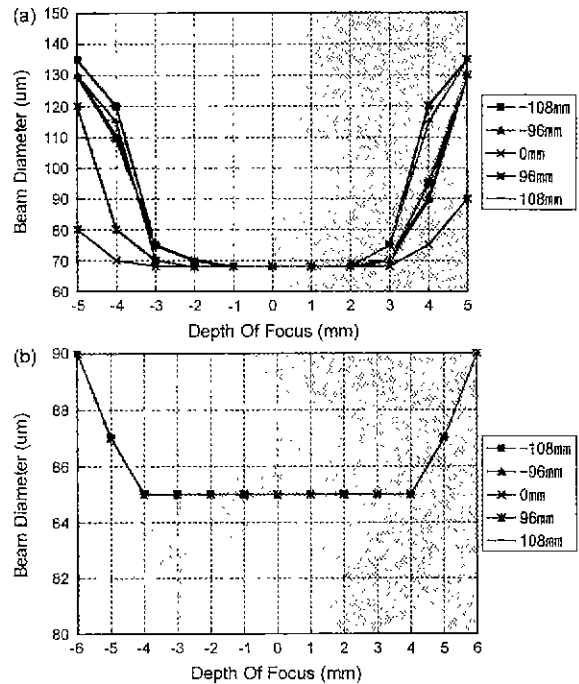


그림 3 주사면상의 특정상고에서 $\pm Z$ (광축)방향으로 계산된 회절 광학적인 초점심도(Depth Of Focus, DOF). (a) 주주사 방향의 초점심도, (b) 부주사 방향의 초점심도.

표 1. 광학적으로 최적설계된 Laser Scanning Unit용 광학계(사용 광원의 파장(λ) = 786.5 nm, 광축에 대한 LD출사빔의 회전 다면경 입사각 = 80° , 주사각(θ) = $\pm 45.52^\circ$, 주주사 및 부주사 초점거리 : 136.0 mm, 92.1 mm, 회전다면경의 편향면에서 결상면까지의 거리 = 185.0 mm, 회전다면경의 면수 = 6, 내접원 반경 = 17.32 mm 및 off-set량 = 2.0 mm, 슬릿크기 (주 \times 부) = $2.7 \times 1.5 \text{ mm}$, f θ 렌즈의 광축에 대한 편심량 : -2.76 mm(1번렌즈), -0.93 mm(2번렌즈), 0 mm상고의 광축에 대한 편심량 = -2.19 mm).

렌즈	면수	주주사 곡률반경 (mm)	부주사 곡률반경 (mm)	두께 (mm)	굴절률
실린더렌즈	제 1 면	∞	18.18	4.00	1.511049 (BK-7)
	제 2 면	∞	∞	33.50	-
회전다면경	반사면	∞	∞	32.34	반사
	제 1 면	-176.47	-176.47	12.00	1.52382 (ZEONEX)
주사렌즈	제 2 면	-66.95	-34.17	4.00	-
	제 3 면	99.21	-27.79	8.00	1.52382 (ZEONEX)
	제 4 면	166.66	-15.77	128.66	-

주사렌즈

1면 : $K = 17.49, A = 9.564 \times 10^{-7}, B = -1.251 \times 10^{-9}, C = 4.514 \times 10^{-13}$
 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 : $K = -4.37, A = -1.354 \times 10^{-6}, B = 2.826 \times 10^{-10}, C = -1.956 \times 10^{-14}$

이고 부주사 방향의 경우는 $\pm 6.0 \text{ mm}$ (빔경 및 빔경편차 Spec.: 85 μm , 20 μm)이상임을 나타내고 있다. 여기서, 최적설계 및

광학성능 계산은 미국 ORA(Optical Research Associates)사의 CODE-V를 사용하였음을 밝혀둔다. 표 1에서 fθ 렌즈의 면형상은 제1면이 공축비구면(광축에 대해 회전대칭형 비구면), 제2면, 제3면, 제4면은 각각 Y-토릭면(주주사 방향으로 회전축을 가지는 비구면 토릭면)으로 구성되어 있다.

III. 실험 및 계산결과

다음 그림 4는 표 1의 설계치 대로 실 제작된 LSU이다. 그림 4의 LSU는 주사렌즈로써 사출성형된 fθ 렌즈가 채용되었으므로 글래스렌즈에서는 보이지 않는 복굴절이 존재하고 이는 빔경확대(결국은 화상劣化와 관계가 된다.)의 원인이 된다. 본 논문에서는 빔경, 복굴절, 그리고 비구면형상을 측정 한 후, 비구면 형상측정 data로부터 계산된 상면탄곡과 설계 초점심도를 상호 비교·분석함으로써 복굴절이 빔경에 미치는 영향에 대해 논의하고자 한다.

3.1. 빔경측정

레이저 프린터의 해상도(보통 시중에 판매되고 있는 제품의 경우 DPI(Dots Per Inch)로 표시된다.)를 좌우하는 LSU의 중요한 광학성능중의 하나인 빔경은 Linear Motion Controller(LMC)위에 장착된 Beam Scan Head(BSH, 설계 결상면에 위치함)로 측정한다. 그림 5를 참조하기 바란다. LMC는 주사면상을 선형적으로 움직이는 장치로써, 본 논문에서는 AEROTECH사의 UNIDEX 500 모델을 사용했고 위치정밀도 1 μm이하로 동작된다. 그리고 BSH는 광전도성 드럼상에 결상되는 빔의 크기를 측정하는 장치로써, 본 논문에서는 PHOTON사의 2180D 모델을 사용했다.

LSU의 빔경은 결상면상에 결상되는 빔의 세기가 최대세기의 1/e²(= 0.135 즉 13.5%)로 감소하는 두지점의 전폭(全幅)으로 정의된다(참고문헌 [10]참조). 본 논문에서는 화상평가에서 사용하는 주사폭(-100 mm~+100 mm)을 10 mm 간격으로 나누어서 측정했다. 다음 그림 6은 그림 5의 측정 set-up을 사용해서 측정된 주주사 및 부주사 방향 빔경이다. 주주사 빔경은 전 주사폭에 대해 62 μm~68 μm로 그림 2의 설계빔경 대

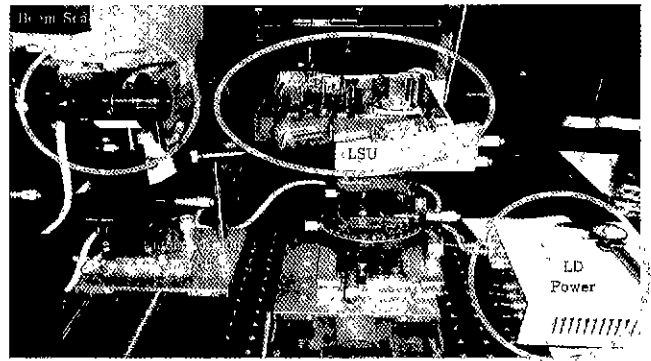


그림 5. 빔경측정장치.

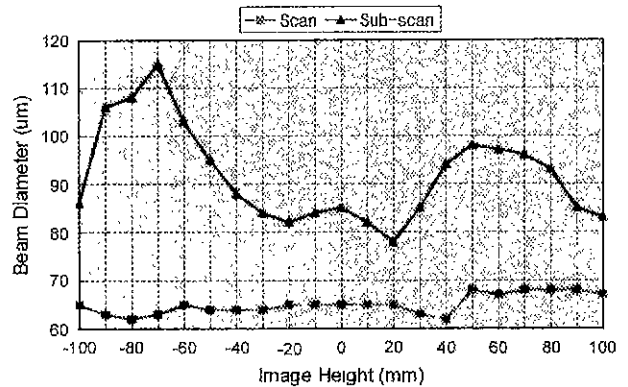


그림 6. 플라스틱 비구면 fθ 렌즈가 실장된 Laser Scanning Unit의 주주사 및 부주사 방향 빔경.

비 동등 성능을 나타내고 부주사 빔경은 78 μm~115 μm로써 빔경편차(37 μm)가 꽤 크게 나타남을 알 수 있다. 실제 화상 평가에서 화상의 질은 빔경의 절대치에 따라서도 달라지지만 빔경편차에 의해 더 크게 영향을 받는다. 즉 빔경이 조금 크더라도 빔경편차가 작다면 화상상에서는 크게 문제시 되지 않는다. 그림 6을 살펴보면 부주사 빔경은 상고 -60 mm~90 mm구간에서 타 상고에 비해 상대적으로 크를 알 수 있다. 이는 화상상에서 주변부와의 농도편차를 발생시킨다!^[4]

3.2. 복굴절측정

광학용 플라스틱 렌즈재료로써는 크게 아크릴계열(PMMA, 日立化成의 OPTORETZ 등)과 폴리올레핀계열(일본ZEON사의 ZEONEX, 일본합성고무의 ARTON 등)로 나뉘어 진다.^[5] 아크릴계열의 재료들은 사출성형후 복굴절(내부왜곡)특성이 우수한 반면 환경특성(온·습도)이 취약하므로 요즘은 아크릴계열에 비해서 환경특성이 우수한 폴리올레핀계열의 재료를 많이 사용하는 경향이 있다. 특히 Pick-Up용 렌즈(CD, DVD용 대물렌즈)나 fθ 렌즈에서는 그 추세가 두드러져 가고 있다.^[6] 그러나 이와같은 폴리올레핀계열의 재료들은 아크릴계 재료보다 사출성형후 렌즈내부에 유기된 복굴절이 크므로 렌즈성능 저하(수차유발)를 가져온다. 본 논문에서는 레이저 프린터의 환경특성(온도 : -20°C~+60°C, 습도 : 10%RH~90%RH)하에서도 광학성능을 유지하기 위해 fθ 렌즈 재료로써 일본 ZEON사의 ZEONEX를 사용하여 설계 및 사출성형하였다.

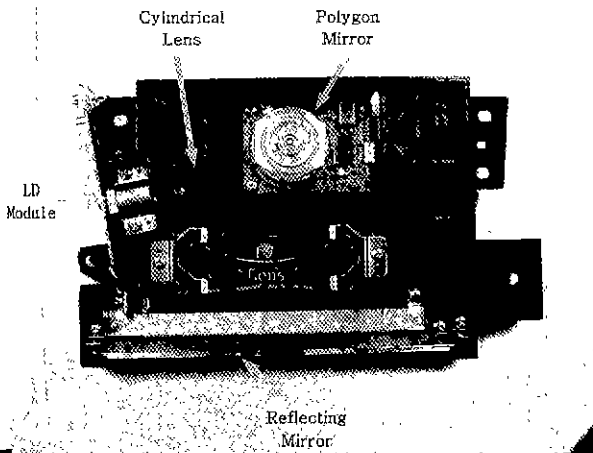


그림 4. 표 1의 설계치 대로 실 제작된 Laser Scanning Unit.

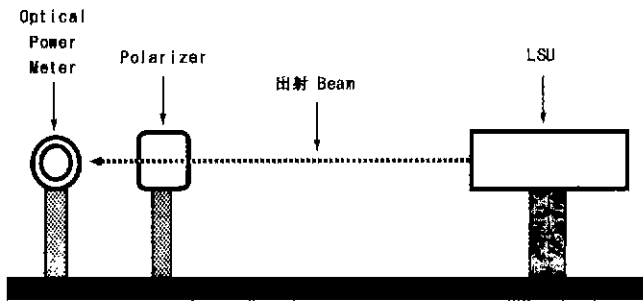


그림 7. 복굴절(편광비) 측정을 위한 장치구성도.

사출성형된 $f\theta$ 렌즈의 복굴절 측정을 위해 그림 5의 측정 set-up을 사용했다. 그림 7에 복굴절 측정을 위한 구성도를 제시한다. 그림 7에서 LSU에서 출사되는 빔은 먼저 편광판을 통과한 후 BSH의 장착위치에 설치된 Optical Power Meter(OPM)로 입사한다. 본 논문에서 사용한 OPM은 일본 YOKOGAWA사의 3293-03모델이다. 여기서 LD(ROHM사의 RLD-78PP)에서 출사되는 빔은 약 90%정도 부주사 방향(그림 1의 +X축방향)으로 선편광 되어있다. 복굴절의 양은 식 (1)과 같이 편광비로 정의되고 상고 -100 mm~+100 mm에 걸쳐 10 mm간격으로 측정된다.

$$\text{편광비} = (\text{s편광의 광량}) / (\text{s편광의 광량} + \text{p편광의 광량}) \quad (1)$$

여기서 각 편광별 광량측정은 다음과 같다. 먼저 $f\theta$ 렌즈가 놓이지 않은 상태에서 편광기를 투과한 광량이 최대가 되는 편광각을 p라 하고(p편광), 이 각에 90°인 각을 각s라고(s편광) 정의한다. 그리고 난후 $f\theta$ 렌즈를 놓은 상태에서 각p에서 광량을 측정하고 또 각s에서 광량을 측정한다.

그림 8은 각 상고별로 측정된 편광비이다. 그림 8을 살펴보면 상고 -60 mm~-90 mm에서 주변상고보다 편광비가 상대적으로 큼을 알 수 있다. 이것은 그림 6의 부주사 빔경이 주변상고보다 큰 위치와 일치함을 보인다. 즉, 부주사 빔경이 큰 위치와 편광비가 큰 위치가 일치함을 알 수 있다. 특히, 편광비(복굴절)가 최대치(37%)인 -70 mm 상고에서 부주사 빔경도 역시 115 μm 로 최대치가 된다. 주주사 빔경과 측정된 편광비

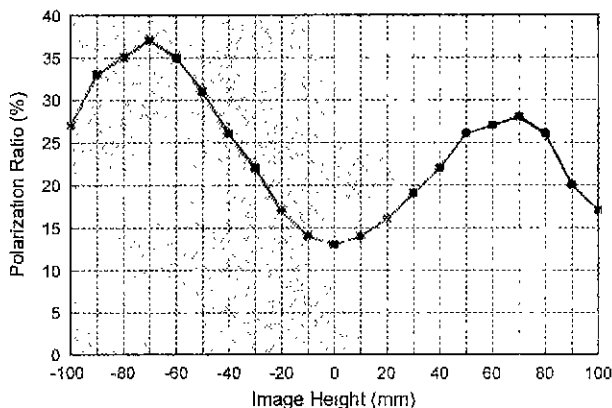


그림 8. 사출성형법으로 제조된 $f\theta$ 렌즈의 내부왜곡에 기인하는 복굴절(편광비) 측정치. 여기서, 편광비 = (s편광의 광량)/(s편광의 광량 + p편광의 광량).

는 무관하게 보이는데 이것은 서론에서 언급했듯이 금형표면과 용융수지와의 온도차에 의해 금형표면(즉, 렌즈외곽)이 먼저 냉각되어 렌즈 외곽부에서 내부왜곡이 크게 발생하게 되고 렌즈 중심부에서는 그 영향이 크지 않기 때문이다. 다음 3.3. 및 3.4.에서 빔경에 영향을 미치는 또 하나의 주요한 요소인 $f\theta$ 렌즈면의 형상오차와 빔경과의 관계를 검토한 후 부주사 빔경편차의 주요인에 대한 최종결론을 내리겠다. LD 출사빔이 부주사 방향(그림 1에서 +X축방향)으로 약 90% 선편광되어 있으므로 그림 8에서 각 상고별 편광비는 최소 10% 이상이 됨을 밝혀둔다.

3.3. 비구면 형상측정

비구면 렌즈의 측정에 관해서는 일반적으로 알려진 방법은 없고 각각의 목적별로 필요에 따라 측정방법(또는 측정기)을 개발해 사용한다. 일본 CANON사의 경우 비구면 형상가공과 측정을 동시에 하는 CSSP(Canon Super-Smooth Polisher)라는 장비^{[7],[8]}를 개발해 사용하고 있고, 마쯔시다(松下)의 경우는 3차원적으로 비구면 형상측정이 가능한 장비를 개발해 시판도 하고 있다. 본 논문에서는 Rank Taylor Hopson사의 Form-TalySurf(FTS)라는 장비를 (분해능 : 0.1 μm)를 사용해 비구면형상 측정을 시행한다. Form-Talysurf의 경우 라인(line)측정만이 가능하므로 비구면 형상측정을 위해서는 별도의 측정 보조기구를 필요로 한다. 본 논문에서는 비구면 전면(全面)

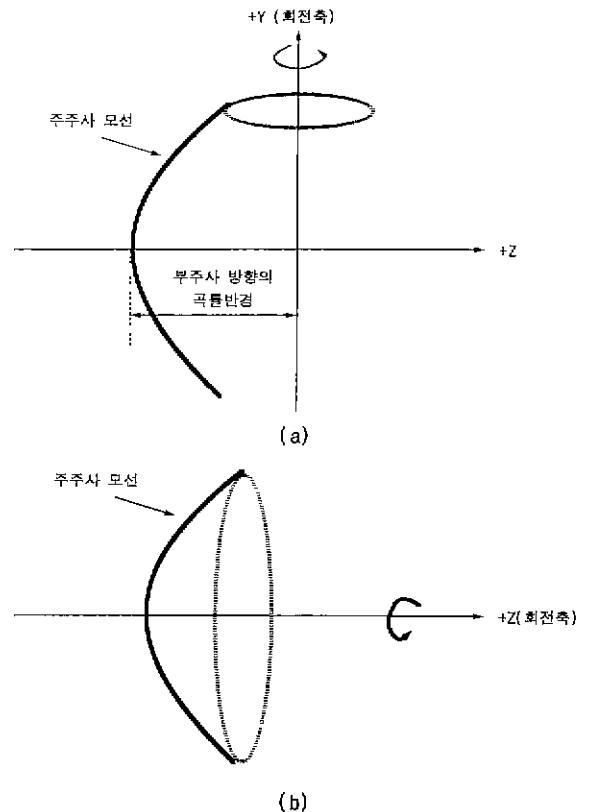


그림 9. Y-토릭면 및 공축비구면의 생성방법. (a) Y-토릭면 : 부주사 곡률반경만큼 떨어진 위치에서 주주사 방향으로 회전축을 가지는 비구면 토릭면, (b) 공축비구면 : 광축에 대해 회전대칭형 비구면.

의 측정을 위해 별도의 측정 보조기구물(FTS의 측정방향에 대해 수직으로 움직이는 기구물, 즉 면측정이 가능해짐.)을 제작하여 비구면 형상측정을 시행한다.

Y-토릭면 및 공축비구면은 그림 9와 같은 방법으로 만들어진다. Y-토릭면의 경우 그림 9(a)에서 보듯이 주주사 모선을 따라가면서 부주사 방향으로 곡률반경이 다른 원으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 즉, 비구면 전면을 측정하기 위해서는 먼저 주주사 모선을 측정한 후 주주사 모선을 따라가면서 부주사 방향의 곡률만 측정하면 된다(그림 10참조). 그리고 공축비구면(그림 9(b))의 경우 본 논문의 설계와 같이 주주사 곡률반경이 크고 부주사측 사용면적이 작은 경우(4 mm)는 Y-토릭면과 같은 방법으로 취급해 측정해도 무방하다. 그림 11에 주주사 및 부주사 방향의 형상 측정치를 제시한다. 그림 11(a)는 주주사모선 형상오차의 측정치로 설계된 형상(그림 11(a)에서 횡축방향의 제로 라인)에 대해 실 제작된 면의 차이를 나타낸

다. 주주사모선 형상오차(PV치)는 각각 41.5 μm(1면), 38.0 μm(2면), 28.5 μm(3면), 14.5 μm(4면)이고 이와같은 형상오차 하에서도 그림 6에서 처럼 설계빔경(68 μm)이 유지된다. 그림 11(a)에서 양의 형상오차는 렌즈 바깥쪽(렌즈내부와 반대방향, 즉 렌즈 내부쪽이 음의 형상오차)방향을 의미하므로 1번렌즈(短fθ 렌즈)는 설계형상에 대해 회전다면경쪽으로 휘어있고, 2번렌즈(長fθ 렌즈)는 설계형상에 대해 결상면쪽으로 휘어있음을 알 수 있다. 그리고 그림 11(b)의 부주사 곡률반경오차(측정곡률반경의 절대치-설계곡률반경의 절대치)는 주주사 모선상의 특정지점에서 부주사 방향으로 측정된 값이다. 여기서, 1면과 2면은 4 mm 간격으로, 3면과 4면은 8 mm 간격으로 측정되었다. 부주사 방향의 곡률반경오차는 사출성형시 금형의 냉각방식의 구조적인 문제로 인해 야기되는 불균일 냉각·수축에 의한 영향이 주원인이다. 사출성형법에 의해 제작된 렌즈의 경우 금형의 코아면 정도(精度)에 따른 거칠기^[19-25]가 렌즈면에 전사되고 이는 렌즈의 화상성능에 큰 영향을 미치게 되므로 그림 11(c)에 이 양을 Accuracy로 표현해 제시한다.

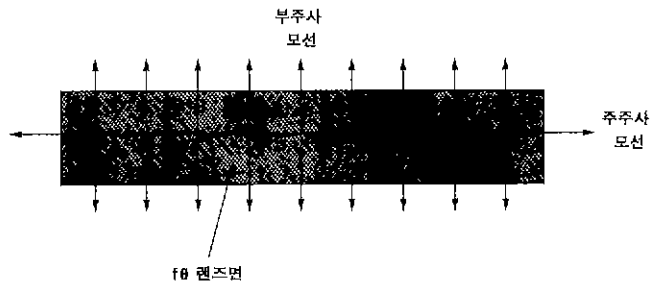


그림 10. 1차원 형상측정장비인 Form-Talysurf로 Y-토릭면의 전면을 측정하기 위한 방법. 먼저 주주사 모선을 측정한 후 부주사 방향으로의 측정보조기구물(FTS의 측정방향에 대해 수직으로 움직이는 기구물)을 사용하여 각 구간별로 부주사 방향의 곡률반경을 측정한다.

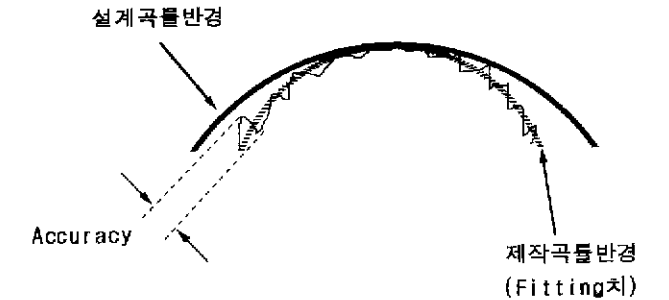


그림 12. Form-Talysurf로 측정시의 부주사 곡률반경 및 Accuracy에 대한 정의.

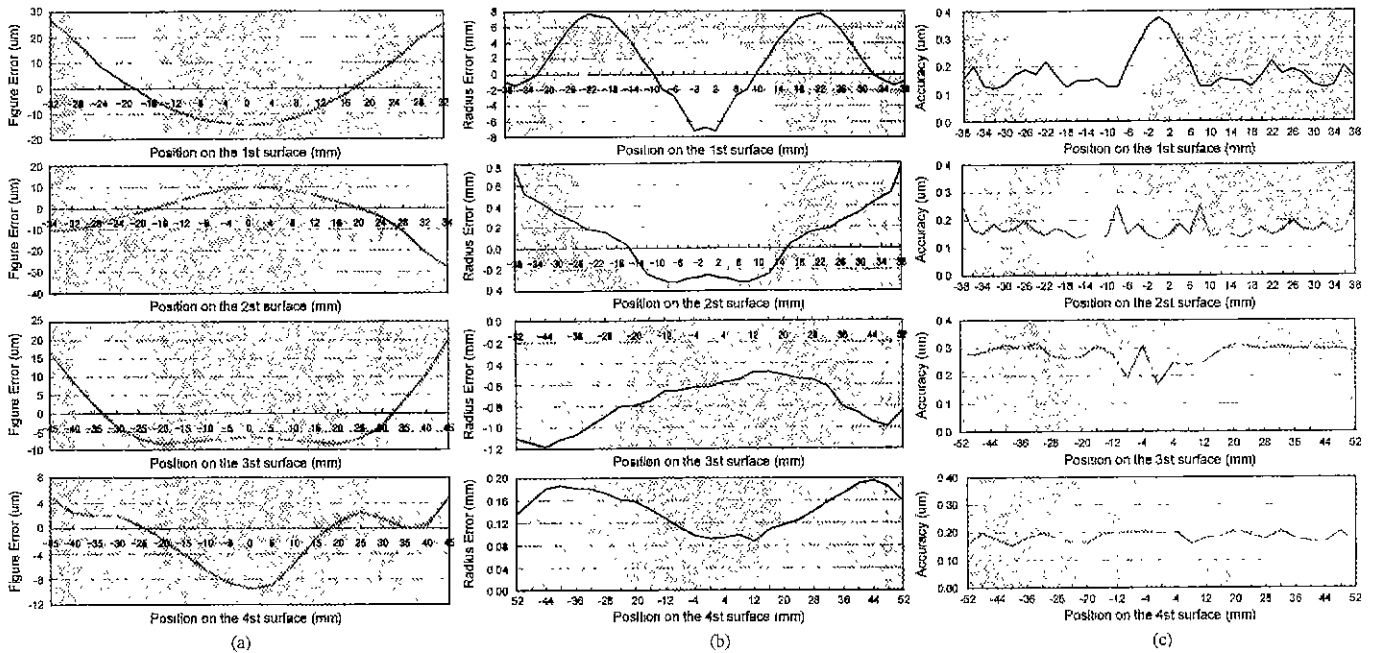


그림 11. Form-Talysurf로 측정된 Y-토릭면. (a) 주주사 모선의 비구면 형상오차(횡축방향의 제로라인은 설계모선을 의미함.), (b) 부주사 방향의 곡률반경오차(측정곡률반경의 절대치-설계곡률반경의 절대치), (c) 부주사 방향의 Accuracy.

그림 11(c)의 Accuracy는 부주사 곡률반경 측정과 동시에 측정되는 양이다. 곡률반경 및 Accuracy에 대한 정의는 그림 12를 참조하기 바란다. $f\theta$ 렌즈 전면에 대해 PV치로써 0.3 μm 이하의 Accuracy값을 가지고, 이는 실제 화상열화를 발생 시키지는 않는다.

3.4. 부주사 방향의 상면만곡계산

본 절에서는 3.3에서 측정된 부주사 곡률반경오차를 사용해서 부주사 방향의 상면만곡을 계산하고자 한다. 사출성형렌즈에서 불균일 냉각시의 수축에 의해 부주사 곡률반경오차가 발생하고 이는 각 상고별로 결상위치의 편차 즉 상면만곡으로 나타나게 된다. 만약 부주사 곡률반경 오차가 일정하다면 실린더 렌즈의 광축방향 위치조정에 의해 전 상고의 결상위치를 광전도성 드럼상에 가져올 수 있지만, 그림 11(b)처럼 곡률반경 오차가 위치별로 다른 경우는 결상위치의 편차가 발생하고 빔경열화와 직결된다. 그러므로 부주사 방향의 상면만곡량을 계산하면 그림 3의 설계 초점심도로부터 부주사 곡률반경오차가 빔경에 미치는 영향을 파악 할 수 있다. 표 2는 각 상고별 대응되는 렌즈상의 위치이다. 그림 11(b)의 부주사 곡률반경오차와 표 2를 사용하여 CODE-V로 계산된 부주사 방향의 상면만곡을 그림 13에 제시한다. 그림 3에서 부주사 방향의 설계 초점심도(DOF)는 $\pm 6\text{ mm}$ 이상이고, 계산된 상면만곡은 $-5.5\text{ mm}\sim+4.2\text{ mm}$ 이므로 그림 11(b)와 같은 곡률반경오차값을 가지는 렌즈에서는 전 상고구간에 대해 빔경이 설계치(85 $\mu\text{m}\sim 90\text{ }\mu\text{m}$)대로 유지 되어야 한다. 그러나 $-60\text{ mm}\sim 90\text{ mm}$ 상고에서의 빔경은, 그 구간에서의 상면만곡량이 $-2.2\text{ mm}\sim$

표 2. 상고 -100 mm 에서 $+100\text{ mm}$ 구간을 10 mm 간격으로 나누었을때 각 상고별 대응되는 $f\theta$ 렌즈상의 위치(여기서, 각 면에서의 위치는 CODE-V를 사용하여 슬릿의 중심을 통과하는 광선을 추적한 계산치임.)

상고 (mm)	제 1면 (mm)	제 2면 (mm)	제 3면 (mm)	제 4면 (mm)
-100	-27.4	-30.9	-38.3	-39.7
-90	-25.8	-29.4	-35.5	-36.9
-80	-23.0	-26.6	-30.7	-32.0
-70	-20.3	-23.7	-26.3	-27.5
-60	-17.7	-20.8	-22.1	-23.2
-50	-15.1	-17.9	-18.2	-19.1
-40	-12.6	-14.9	-14.6	-15.3
-30	-10.1	-12.0	-11.0	-11.6
-20	-7.7	-9.0	-7.6	-7.9
-10	-5.3	-5.9	-4.3	-4.4
0	-2.8	-2.8	-0.9	-0.8
10	-0.3	0.4	2.5	2.8
20	2.3	3.5	5.8	6.3
30	4.8	6.7	9.4	10.1
40	7.5	9.9	13.1	14.0
50	10.3	13.2	17.0	18.1
60	13.2	16.5	21.2	22.4
70	16.2	19.9	25.7	27.1
80	19.4	23.3	30.7	32.1
90	22.7	26.7	36.0	37.5
100	24.7	28.6	39.2	40.6

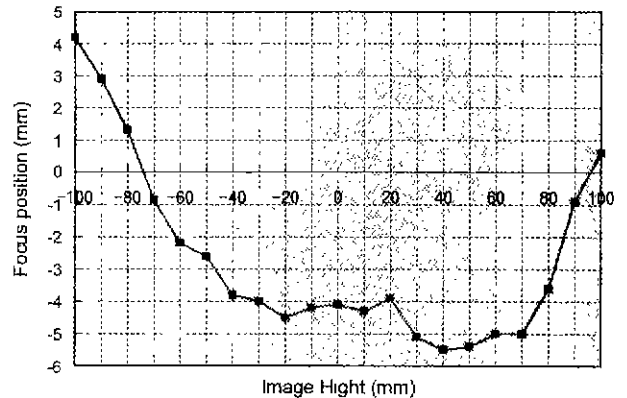


그림 13. 측정된 부주사 곡률반경을 입력data(그림 11의 (b))로 계산된 부주사 방향의 상면만곡. 단, 여기서 실린더 렌즈의 위치는 설계치로부터 광축방향으로 $+2.5\text{ mm}$ 이동되었다.

$+2.9\text{ mm}$ 로 그다지 크지 않음에도 불구하고, $103\text{ }\mu\text{m}\sim 115\text{ }\mu\text{m}$ (빔경 및 빔경편차 Spec. : $85\text{ }\mu\text{m}$, $20\text{ }\mu\text{m}$)로써 설계치를 많이 벗어나 있다. 즉, $-60\text{ mm}\sim 90\text{ mm}$ 상고구간에서 부주사 빔경 편차의 주요인은 냉각·고화시의 수축에 의한 형상변형보다 그림 8에서 제시한 렌즈내부의 복굴절에 의한 영향으로 생각된다. 그림 8에서 살펴보면 $-60\text{ mm}\sim 90\text{ mm}$ 상고에서의 복굴절(편광비)은 33~37%로써 주변상고보다 크고, 특히 -70 mm 상고에서 최대 부주사 빔경($115\text{ }\mu\text{m}$) 및 최대 복굴절(편광비 : 37%)을 갖는다. 그리고 편광비(복굴절)가 22~26%인 $+40\text{ mm}\sim +80\text{ mm}$ 상고에서의 빔경은 상면만곡량이 $-3.6\text{ mm}\sim +5.5\text{ mm}$ 로써 다른 상고에 비해 큼에도 불구하고 $93\text{ }\mu\text{m}\sim 98\text{ }\mu\text{m}$ 를 갖고, 또 빔경 및 빔경편차 Spec.($85\text{ }\mu\text{m}$, $20\text{ }\mu\text{m}$)을 만족하고 있다. 여기서 $+40\text{ mm}\sim +80\text{ mm}$ 상고구간에서 설계($85\text{ }\mu\text{m}\sim 90\text{ }\mu\text{m}$)대비 빔경이 조금 큰것은 주변상고보다 상면만곡량이 크고($-3.6\text{ mm}\sim -5.5\text{ mm}$), 또 전체적으로 부주사 상면을 결상면 위치로 이동시키기 위해 실린더 렌즈를 광축방향으로 조정($+2.5\text{ mm}$)함에 의해 야기된 수차발생이 원인으로 생각된다. 결과적으로 복굴절측면에서 살펴보면 부주사 빔경 및 빔경편차 Spec.을 만족하기 위해서는 전 상고구간에 대해 편광비가 25% 이하로 유지되어야 한다고 생각된다(그림 6과 그림 8참조).

IV. 결 론

본 논문에서는 사출성형법으로 제조된 $f\theta$ 렌즈에서 발생하기 쉬운 부주사방향 빔경편차의 주원인에 관해 살펴보았다. 부주사방향 빔경편차는 레이저 프린터의 화상평가에서 주로 농담의 차이를 발생시키는 화상열화로 나타난다. 사출성형법으로 제조되는 렌즈에서는 글래스 렌즈와는 달리 렌즈내부에 복굴절 현상뿐 아니라 냉각시 수축에 의한 형상오차가 발생하게 되는데 이들은 실제 빔경에 영향을 끼치는 주요인으로 작용한다.

본 논문에서는 광학적으로 최적설계된 LSU를 실 제작 하였고, 또 이를 가지고 빔경 및 복굴절을 측정했다. 그리고 구성 광부품중 빔경 및 화상에 가장 큰 영향을 미치는 $f\theta$ 렌즈의 비구면 형상측정도 했다. 이때 문제가 되는 부주사 빔경편차의 주요인(복굴절 또는 형상오차)을 분석하기 위해 CODE-V

를 써서 상면만곡을 계산하였고, 실제 초점심도와 계산된 상면만곡을 비교·분석함으로써 부주사 빔경편차는 주로 복굴절에 의한 영향으로 결론지을 수 있었다. 부주사 빔경편차를 줄여 양질의 화상을 얻기 위해서는 금형구조적으로 냉각채널을 보완해 렌즈내부의 분자구조적인 왜곡현상(복굴절)을 최대한 억제할 필요가 있다고 생각되어 진다.

참고문헌

- [1] 内藤英夫, 光技術コンタクト, **37**(3), 3 (1999).
- [2] 柳澤 薫, 光技術コンタクト, **37**(3), 14 (1999).
- [3] 魚津嘉人, 光技術コンタクト, **37**(3), 21 (1999).
- [4] 石村二三男, 光技術コンタクト, **37**(3), 31 (1999).
- [5] 佐藤舜二, 光技術コンタクト, **34**(4), 161 (1996).
- [6] 青木 修, 光技術コンタクト, **34**(4), 169 (1996).
- [7] 中西 寛, 光技術コンタクト, **34**(4), 177 (1996).
- [8] 田中日出男, 光技術コンタクト, **34**(4), 189 (1996).
- [9] Sucharita Sanyal, Partha Bandyopadhyay, and Ajay Ghosh, *Opt. Eng.* **37**(2), 592(1998).
- [10] Robert E. Hopkins and D. Stephenson, *Optical Scanning* (Marcel Dekker) pp. 27-82, 1991.
- [11] 西澤紘一, *Optronics* **10**, 131 (1995).
- [12] Takashi Iizuka, *光學* **28**(12), 676 (1999).
- [13] 日本國 特許 第 2983535號.
- [14] Donald R. Lehmbeck and John C. Urbach, *Optical Scanning* (Marcel Dekker) pp. 83-158, 1991.
- [15] 河合宏政, *月刊電子技術*, **3**, 147 (1997).
- [16] 小瀬古久秋, *光技術コンタクト*, **36**(10), 43 (1998).
- [17] Manabu Ando, Mahito Negishi, Masahumi Takimoto, Akinobu Deguchi and Nobuo Nakamura, *Nanotechnology* **6**, 111 (1995).
- [18] Mahito Negishi, Akinobu Deguchi, Manabu Ando, Masahumi Takimoto and Nobuo Nakamura, *Nanotechnology* **6**, 139 (1995).
- [19] 今井健一郎, 橋本洋, *光技術コンタクト*, **36**(9), 3 (1998).
- [20] Tsunemoto Kuriyagawa, *光技術コンタクト*, **36**(9), 10 (1998).
- [21] 大森 整, 守安 精, *光技術コンタクト*, **36**(9), 19 (1998).
- [22] 伊藤伸英, *光技術コンタクト*, **36**(9), 26 (1998).
- [23] 池田三章, *光技術コンタクト*, **36**(9), 33 (1998).
- [24] 池野順一, *光技術コンタクト*, **36**(9), 43 (1998).
- [25] 佐藤修三, *光技術コンタクト*, **36**(9), 50 (1998).

The effect analysis of birefringence of plastic f θ lens on the beam diameter

Cheon Seog Rim

Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Taejeon 305-701, Korea

(Received February 28, 2000, Revised manuscript received March 27, 2000)

We measure a beam diameter of scan and sub-scan direction of LSU (Laser Scanning Unit) which uses f θ lens produced by injection molding method as a scanning lens. While the measured beam diameter in scan direction, which is 62 μm to 68 μm , shows similar size comparing to the design beam diameter, the sub-scan beam diameter shows sizable beam diameter deviation as much as 37 μm ranging from 78 μm to 115 μm . Injection molding lens has the surface figure error due to the shrinkage in the cooling time and the internal distortion (birefringence) due to the uneven cooling condition so that these bring about wavefront aberration (i.e., the enlargement of beam size), and are eventually expressed as the deterioration of the printing image. In this paper, we first measure and analyze beam diameter, birefringence (polarization ratio), and aspherical figure error of f θ lens in order to know the principle cause of the beam diameter deviation in sub-scan direction. And then, through the analysis of a designed depth of focus and a calculated field curvature (imaging position of the optical axis direction) using the above figure error data, we know that the birefringence is the main factor of sizable beam diameter deviation in sub-scan direction.