

### 3. 최신 기술 동향

# 비구면 렌즈, 회절광학소자 동향

국내 광학산업계에서 결상광학계에 대한 기술은 구면 광학계를 위주로 하고 있고, 소형 플라스틱 렌즈분야에서 비구면의 활용이 일반화되어 가고 있다. 앞으로 고성능 결상광학계를 중심으로 유리 비구면 렌즈의 활용이 늘어날 것으로 예상돼 유리비구면 렌즈의 성형기술의 개발이 필요하다. 또한 비구면 플라스틱렌즈의 경우 비구면의 면정도를  $0.1\mu m$  수준으로 높여야 하며, 이를 위해 탐침법에 의한 기계적 형상측정에서 간섭계를 이용하는 정밀한 광학적 비구면 형상측정기술의 확보가 필요하다.

글 : 이종웅 교수/청주대학교 광학공학과 부교수

## I. 서론

1990년대에 국내의 광학기술은 많은 발전이 있었고, 상용광학계에서 광학계의 설계 및 가공 기술은 거의 세계적인 수준에 이르고 있고, 수출 물량도 상당하다. 그러나 지금의 국내 광학산업계에서 결상광학계에 대한 기술은 구면 광학계를 위주로 하고 있고, 소형 플라스틱 렌즈분야에서 비구면의 활용이 일반화되어 가고 있다. 광학계는 광학현상을 응용하는 기기로 전통적으로 빛의 굴절과 반사를 이용하고 있었으나, 최근에 이르러 빛의 회절을 이용하는 회절광학계의 활용도 점차 늘어나고 있다.

본 해설에서는 렌즈계에 대한 기술적인 추이를 간략하게 살펴보고 앞으로의 발전 방향에 대하여 제언하고자 한다.

## II. 렌즈계의 기술동향

### 1. 비구면 렌즈

비구면 렌즈는 수차보정의 용이성과 비구면가공 및 사출성형 기술의 발전에 힘입어 최근에 널리 사용되고 있다.

현재 국내에서 생산되는 비구면 렌즈는 플라스틱 렌즈로서 소재로는 acryl, PMMA, CR, PC를 주로 사용하고 있다.

플라스틱 소재는 광학유리와 비교하여 굴절률과 경도가 낮고, 열특성이 나쁘기 때문에 주로 중급정도의 광학계에 사용되고 있다. 광학용 플라스틱 소재<sup>(1,2)</sup>에 대한 개발이 세계적으로 활발하게 진행되고 있어 경도나 굴절률에서 유리와 거의 유사한 소재도 나타나고 있으나 플라스틱은 아직도 광학유리와 비교하여 사용가능한 소재가 적고, 열변형이 크며, 복굴절이 생기며, 정전기가 발생하는 단점이 있다.

따라서 앞으로 고성능 결상광학계를 중심으로 유리 비구면 렌즈의 활용이 늘어날 것으로 예상

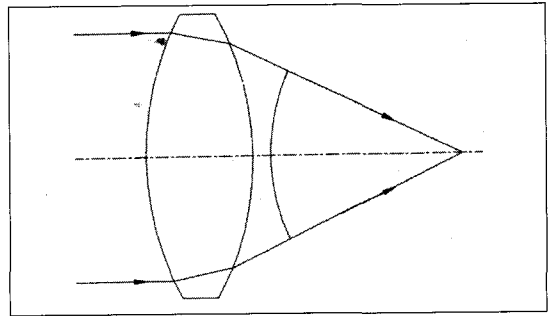
되며, 국내 산업계에서 유리비구면 렌즈의 성형 기술의 개발이 필요하다.

또한 지금까지 광 pickup용 이외의 결상광학계에 사용되는 비구면 플라스틱렌즈는 주로 소형으로 면형상의 정밀도가 크게 요구되지 않는 분야에만 사용되고 있었으나, 점차로 광학계가 고성능화 되면서 면정도에 대한 요구도 높아지고 있다.

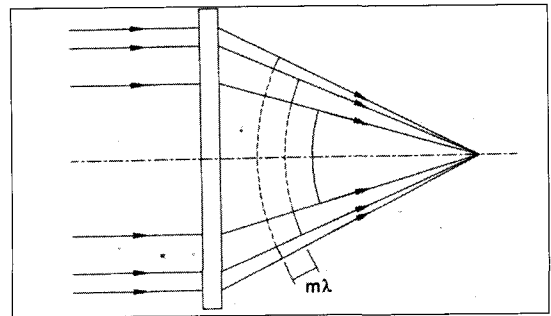
현재 국내에서 가능한 비구면의 면정도는 0.2 정도이나 앞으로는 이를 0.1 수준으로 높여야 하며, 이를 위하여서는 탐침법에 의한 기계적 형상측정에서 간섭계를 이용하는 정밀한 광학적 비구면 형상측정기술<sup>(3)</sup>의 확보가 요청된다.

## 2. 회절광학소자

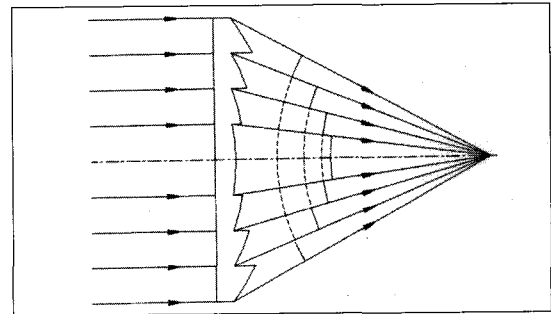
광선광학(ray optics)에서는 빛의 전파를 광선의 굴절과 반사로 해석하고 있으나 파면광학(wavefront optics)에서는 파면의 전파로 해석하고 있다. Hygens의 원리에 따르면 파면상의 각 점은 새로운 2차 구면파의 점광원이 되며, 이 2차 구면파가 합쳐져 새로운 파면을 형성한다. 회절광학소자(diffractive optical element, DOE)는 하나의 파면을 여러개의 작은 파면으로 나누었을 때 합쳐지는 파면의 광로정차가 파장  $\lambda$ 의 정수배가 되면 서로 보강간섭을 하는 것을 이용하고 있다. 회절광학소자에서 파면을 여러 개의 작은 파면으로 나누어 합쳐주는 것은 Fresnel lens에서도 사용되고 있고, Fresnel lens의 경우에는 각각의 작은 파면간의 위상차를 고려하지 않고 파면의 진행방향만 상점으로 향하게 하고 있다. 그림 1은 렌즈, DOE, Fresnel lens에서 상면으로 입사하는 이상적인 파면을 보여주고 있다. 그림 1(a)에서 전통적인 렌즈는 굴절과 반사를 이용하여 상면으로 수렴하는 큰 구면파를 만들어 준다고 한다면 그림 1(b)의 DOE는 정수배의 광로정차를 가지는 작은 구면파들을 만들어주고 있으며, 그림 1(c)의



(a) 렌즈



(b) 회절광학소자

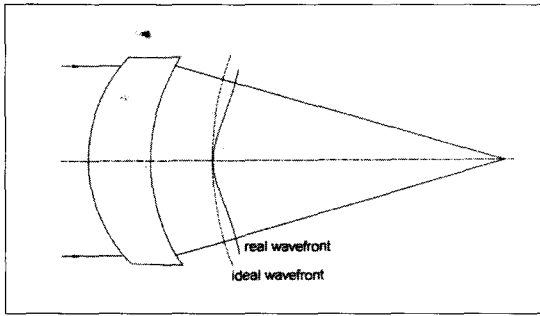


(c) Fresnel lens

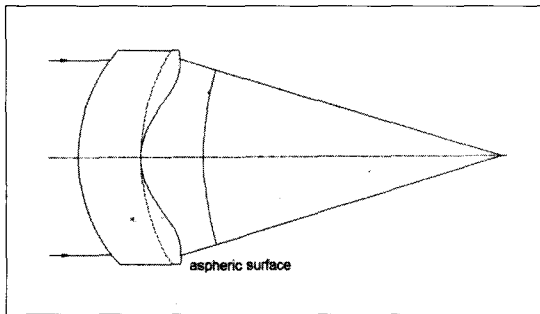
그림 1. 상점으로 수렴하는 파면의 형태

Fresnel lens는 상점으로 수렴하는 작은 구면파를 만들어주고는 있으나 각 파면간의 위상차는 일정하지 않다.

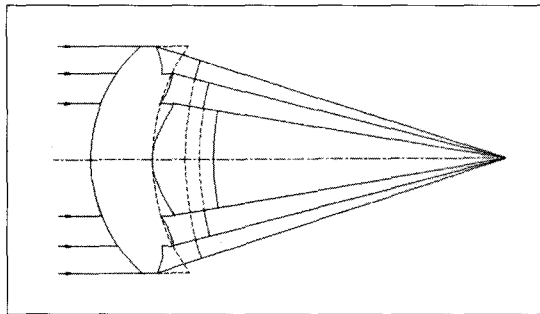
회절광학소자는 굴절렌즈계와 비교하여 평면형으로 만들 수 있다는 장점은 있으나 색수차가 크고 굴절능을 크게 하기 어렵다는 문제점을 가지고 있어 회절광학소자만으로 광학계를 구성하는 것에는 많은 제한이 따른다. Hybrid lens<sup>(4)</sup>는 렌즈와 회절광학소자를 결합한 광학소자로서



(a) 구면렌즈



(b) 비구면렌즈



(c) Hybrid lens

그림 2. 단렌즈의 파면

앞으로 활용가능성 많은 광학소자로 주목받고 있다. Hybrid lens는 빛의 굴절을 이용하여 충분한 굴절능을 확보함과 동시에 회절을 이용하여 파면수차를 보정하고 있으며 그림 2는 비구면 렌즈에 의한 수차보정과 hybrid lens를 이용한 수차보정의 예를 보여주고 있다. 비구면을 이용한 수차보정에서는 파면수차가 큰 경우에는 비구면 변형량이 커지기 때문에 가공 및 검사에

어려움이 따르며, 색수차를 보정할 수 없다. 반면에 hybrid lens의 경우에는 렌즈면을 zone으로 나누어 각각의 zone 형상을 다르게 제작하여야 하는 어려움은 있으나 비구면 변형량이 적고, 회절격자의 역분산을 이용하면 1매의 렌즈만으로도 색수차의 보정된 광학계를 만들 수 있다는 점에서 고성능이 요구되지 않는 양산 광학계에서는 충분한 시장경쟁력을 가질 수 있을 것으로 예상된다.

### 3. Micro-Optical Element

Micro-optical element는 구경이 수 mm 이하의 작은 렌즈로서 광통신분야에 많이 사용되고 있다.

굴절형 micro-lens에는 ball lens와 GRIN lens (gradient index lens)가 광섬유 결합기에 사용되고 있고, GRIN lens<sup>(5,6)</sup>는 굴절률 분포를 조정하여 구면 만으로도 비구면과 같은 수차보정효과를 얻을 수 있고, 평면형의 렌즈를 만들 수 있다는 장점이 있어 앞으로 활용범위가 넓어질 것으로 예상된다. MFL(micro Fresnel lens)는 그림 1(c)와 같은 Fresnel lens를 축소시킨 형태이다.

Micro lens의 경우에는 구경이 작고 array로도 많이 사용되고 있어 통상적인 연마 또는 사출

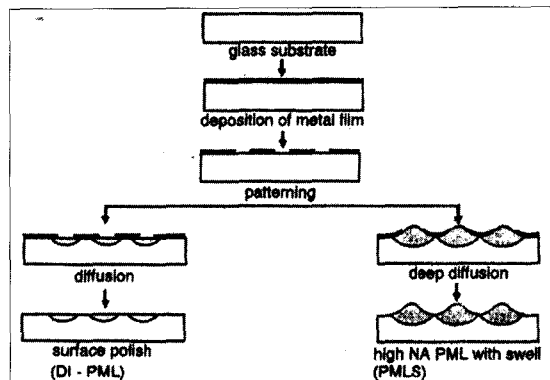


그림 3. Distributed index planar micro-lenses (DIPLM)의 제작과정

공정이외에 lithography 기술을 이용하여 제작하는 방법도 사용되고 있다[7]. DI PLM (distributed index plana micro-lens)은 그림 3과 같이 확산공정을 통하여 굴절률 분포를 준 평면형 gradient index lens이며, PLMS는 PLM의 표면을 부풀어 오르게 하여 초점거리를 짧게 한 것이다. SMILE(spherical micro intergrated lenses)는 PLM과 같이 lithography 기술을 사용하고 있으나, photo-sensitive glass에 UV를 노광하여 표면을 부풀어 오르게 한 것으로 확산공정을 거치지 않는 점이 PLM과 다르다.

### III. 결론

지금까지 렌즈분야에서 현재 개발되고 있는 기술에 대하여 간략하게 살펴보았다.

이미 렌즈분야는 구면광학계에서 비구면광학계로 바뀌어가는 과정에 있고, 앞으로는 유리 비구면렌즈의 활용이 점차 늘어날 것으로 예상되며 정밀 비구면가공 및 검사기술을 확보함과 동시에 glass moding에 대한 기술개발이 필요하다. 이와 함께 국내산업계에서는 hybrid lens에 대하여 보다 많은 관심을 가질 필요가 있다. 현재로는 금형가공 및 사출의 어려움 때문에 hybrid 렌즈는 매우 제한적으로 사용되고 있으나, 금형과 사출기술만 확보된다면 hybrid 렌즈는 매우 큰 잠재력을 가진 광학계로 평가된다. Gradient index lens는 현재 광통신 분야에서 coupler로서 주로 사용되고 있으나, gradient index material은 기존의 등방성 균일 재질이 가지는 한계를 넘을 수 있다는 잠재적 가능성을 가지고 있다는 점을 주목하여야 할 필요가 있다. 또한 micro-lens 분야에서는 전통적인 연마, 사출공정외에 lithography 공정을 이용하는 새로운 가공방법에도 관심을 가져야만 할 것으로 생각된다.

[참고문헌]

- [1] Solomon Musikant, Optical Materials, (Marcel Dekker Inc., New York, 1985), Chap. 6.
- [2] Michael Brass. Ed., Handbook of Optics Vol. II, (McGraw-Hill Inc., New York, 1995), Chap. 34.
- [3] 津田直樹, 高精度鏡面形狀測定法-非球面測定を 目ざして-, (株オプトロニクス社, 東京, 昭和63年).
- [4] 박성찬, 렌즈모듈을 이용한 회절광학소자 광학계의 설계 및 평가기술 개발, 한국과학재단 연구보고서 (KOSEF 981-0206-019-1), (한국과학재단, 대전, 1999).
- [5] Erich W. Marchand, Gradient Index Optics, (Academic Press, New York, 1978).
- [6] Michael Brass. Ed., Handbook of Optics Vol. II, (McGraw-Hill Inc., New York, 1995), Chap. 9.
- [7] Michael Brass. Ed., Handbook of Optics Vol. II, (McGraw-Hill Inc., New York, 1995), Chap. 7.