

非球面 렌즈에 對하여

About the Aspheric Lenses

丁 海 彬

三洋光學 附設研究所

非球面 렌즈라는 말이 일반인들에게 널리 알려지기 시작한 것은 콤팩트 디스크 플레이어 꺾임에 자그마한 플라스틱 非球面 렌즈가 쓰이고 나서부터이다. 非球面 렌즈라는 것은 렌즈의 한 면 또는 두면이 球面이 아닌 曲面, 즉 非球面으로 이뤄진 렌즈를 의미하는 만큼 수없이 많은 종류가 존재하며 그 역사도 비교적 오래되었다. 그럼에도 불구하고 그 동안 일반인들에게 알려지지 않았던 것은 종래의 非球面 렌즈들이 유리를 研磨하여 만들어졌기 때문에 加工이 극히 어려워 특수한 용도의 제한된 분야에만 사용되어 왔기 때문이다. 하지만 최근에는 플라스틱 素材와 金型 및 射出 技術의 발달로 非球面 렌즈의 大量生産이 가능해져 널리 쓰이게 됨에 따라서 일반인에게도 널리 알려지게 되었다. 여기에서는 이러한 非球面 렌즈의 특징, 제조 방법, 재료 및 그 용도 등에 대하여 개략적으로 살펴보고

자 한다.

우선, 비구면 렌즈를 사용하게 되는 이유부터 살펴 보자. 만일, 어떤 한 렌즈계가 이상적이라면 물체의 한 점에서 나온 모든 빛은 렌즈를 통과한 후 다시 像위의 한 점에 전부 모이게 된다. 실제의 렌즈들은 이상적이 아니므로 像위의 한 점을 중심으로 하여 그 주위에 어느 정도의 범위에 빛이 퍼져서 존재하게 된다. 이러한 광학적 결함을 収差라 부르며 이러한 収差를 없애거나 작게 만드는 것이 렌즈 설계자의 가장 주된 임무로 되어 있다. 주위에서 흔히 보게 되는 카메라의 렌즈계가 여러 장의 單렌즈들로 이루어져 있는 것도 収差를 작게 하는 데 필요한 충분한 수의 설계변수를 얻기 위해서이다. 따라서 성능이 뛰어난 렌즈일수록 여러 장의 單렌즈들이 쓰이게 되고, 그 결과 크고 무겁게 된다.

한편, 非球面 렌즈는 한 면 또는 두 면이 非

球面으로 되어 있어 球面에 비해 많은 수의 설계 변수를 가지므로 球面만으로 이뤄진 렌즈에 비하여 작은 수의 單렌즈들만으로도 높은 성능을 얻을 수 있다. 통상 양면이 非球面으로 이뤄진 렌즈 한 장은 球面만으로 이뤄진 렌즈 세 장 정도의 효과를 나타낸다. 따라서 非球面 렌즈를 사용하면 전체 렌즈系の 중량과 크기를 상당히 감소시킬 수 있다.

非球面이라 하면 球面(平面은 球面에서 曲率半徑이 無限大인 경우로 본다)을 제외한 모든 曲面을 가리키는 말이나 렌즈系에 사용되는 면은 광학적인 특성 때문에 한 개의 회전 대칭축(이를 光軸이라고 부른다)을 갖는 형태가 거의 전부이다. 종래에는 유리를 研磨하여 사용하였으므로 非球面이라 하여도 拋物面, 雙曲面 등의 二次曲線의 회전체가 대부분으로 天體望遠鏡이나 集光 렌즈 등 제한된 용도에 사용되어 왔으나 근래에는 플라스틱 재료의 발달로 射出 成形이 가능하게 되어 다양한 형태의 非球面 렌즈가 사용 가능하게 되었다.

射出 成形을 하기 위해서는 우선 그 틀인 金型을 만들어야 한다. 그런데, 射出 렌즈용 金型은 일반 플라스틱 成形用 金型과 달리 소위 鏡面 加工이라고 하는 특별한 가공 방법이 필요하게 된다. 鏡面 加工이란 말 그대로 金型面을 거울면과 같이 흠집이 전혀 없고 매끄러우며 광이 나도록 가공하는 것을 말한다. 이러한 鏡面 가공은 컴퓨터를 이용하여 정확한 形狀制御가 가능하게 된 數值 制御 선반의 발달과 眞球 형상의 다이아몬드 알을 그 끝에 박은 다이아몬드 바이트가 개발됨으로써 비로소 가능하게 되었다. 이 방법은 흔히 다이아몬드 터닝(Diamond Turning) 방법이라고 불리운다. 가공면이 매끄러워야 하고, 가공시 발생하는 열에 의한 변형이 생겨서는 안되므로 가공 속도가 매우 느리다. 또한 주위 온도 변화와 진동 바닥으로부터 전달

되는 진동에 의해 발생하는 가공오차를 줄이기 위하여 恒溫시설과 除振설비가 필요하다.

위에서 말한 다이아몬드 터닝에 의해 가공된 鏡面은 干涉計 또는 三次元 測定機 등을 사용하여 그 면의 형상을 검사하게 된다. 非球面의 程度는 非球面度라는 말로 표시하는데 이것은 그 非球面에 가장 근접하는 球面과 非球面間의 최대 간격을 길이의 단위로 나타낸 것이다. 干涉計에 의한 방법은 그 정밀도는 매우 높으나 非球面度가 높은 것은 측정할 수 없어 주로 天體望遠鏡用 反射鏡의 形狀 測定 등에 이용되고 있다. 三次元 測定機의 경우에는 비교적 측정 정밀도는 낮으나 측정 가능한 범위가 넓기 때문에 플라스틱 렌즈용 金型 形狀 검사 등에 사용되고 있다. 이들 장비 역시 열팽창과 진동에 의한 측정오차를 줄이기 위하여 恒溫시설과 除振 설비를 필요로 한다.

광학 재료로서의 플라스틱은 유리와 비교하여 다음과 같은 장단점을 지니고 있다. 먼저 장점으로서는

- (a) 비중이 작아서 렌즈의 중량을 가볍게 할 수 있다(유리의 약 반 정도).
- (b) 여러가지 방법으로 손쉽게 성형 가공이 가능하다.
- (c) 耐衝擊性이 뛰어나다(유리의 5~10배).
- (d) 軟質에서 硬質까지 品目이 다양하고 가격이 싸다.

반면에 그 단점으로는

- (a) 광학 특성의 온도 의존도가 크다(부피 팽창계수, 굴절률의 온도 변화계수등이 유리의 약 10배).
- (b) 耐熱性이 작다(耐熱溫度는 약 100℃).
- (c) 耐溶劑性이 없다.
- (d) 吸水率이 크다(통상적으로 2% 정도의 吸水率이면 10℃의 온도 변화에 해당하는 영향을 굴절률에 미친다).

등을 들 수 있다.

플라스틱은 크게 熱硬化性 수지와 熱可塑性 수지로 나눌 수 있다. 熱硬化性 수지란 열을 가해주면 굳어져서 딱딱하게 되는 성질을 가지고 있어 뒤에 언급될 熱可塑性 수지에 비하여 耐熱性이 좋다. 耐熱溫度 이상으로 가열하면 분해되는 특성을 가지고 있다. 여기에 속하는 대표적인 광학 재료로는 CR-39를 들 수 있는데, 이러한 수지는 유리로 된 金型을 만들고 이러한 金型 두 장 사이에 스페이서(Spacer)를 설치하여 두 장의 金型과 스페이서로 이뤄지는 공간에 수지를 채워넣은 후 가열하여 굳히는 방법으로 플라스틱 안경 렌즈 등을 만드는 데 사용된다. 熱可塑性 수지는 이와는 반대로 열을 가해주면 물렁물렁해지는 수지로 이러한 성질 때문에 射出成形 材料로서 널리 쓰인다.

대표적인 수지로는 PMMA를 들 수 있으며 금속을 鏡面 加工하여 만든 金型을 써서 射出 成形하여 카메라용 렌즈등을 만든다. 비구면 플라스틱 렌즈에 있어서는 前者보다는 後者가 가공성이 우수하다는 점에서 더욱 관심이 모아지고 있으며 낮은 耐熱性을 개선하기 위한 연구도 활발히 진행되고 있다.

이밖에 플라스틱 재료를 써서 렌즈를 설계할 때 문제가 되는 것은 플라스틱 재료의 종류가 다양하지 못하여 色収差의 보정이 어렵다는 것이다. 色収差라는 것은 색에 따라 빛이 퍼지는 형상으로 값싼 쌍안경을 통해 물체를 관찰할 때 시야의 주변부에 나타나는 무지개와 같은 빛의 퍼짐이 바로 이 色収差에 의한 현상이다.

이러한 色収差를 제거하기 위해 비교적 굴절률이 낮고 아베數(프리즘에 의해 무지개색이 분리되는 것과 같은 현상이 分散인데 이 分散度의 逆數가 아베數이다)가 큰 크라운 유리와 반대로 굴절률이 높고 아베수가 작은 플린트 유리의 조합이 이용되고 있다.

광학 유리의 경우는 굴절률이 1.5~1.9, 아베數가 20~90에 이르는 넓은 범위에 골고루 존재하는데 비하여 플라스틱 광학 재료는 굴절률이 높으면 아베數가 작고, 굴절률이 낮으면 아베數가 큰 제한된 범위내에만 존재하여 色収差를 없애기가 어렵다.

현재는 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 플라스틱 렌즈만으로 光學系를 구성하기 보다는 유리 렌즈와 조합하여 光學系를 구성하는 하이브리드(Hybrid)화가 이뤄지고 있다.

제작된 플라스틱 렌즈는 재질의 특성상 흠집이 생기기 쉬우므로 耐磨耗性을 높이기 위하여 표면에 硬度가 높은 물질을 코팅해주게 되는데 이러한 표면 처리가 끝난 플라스틱 렌즈는 안경 렌즈에서 보는 바와 같이 실용상 거의 문제가 없을 정도로 耐磨耗性이 향상된다. 또한 빛의 투과도를 높이기 위한 無反射 코팅도 함께 행해지게 된다.

실용화되어 있는 대표적인 플라스틱 렌즈들의 종류와 이들이 각각 플라스틱의 어떤 장점을 이용한 것인가를 열거해 보면 다음과 같다.

색안경과 시력 보정용 안경 렌즈의 경우는 輕量性, 安全性, 染色性 등이 이용되고 있다. 흠집이 생기기 쉽다는 단점이 표면처리에 의해 극복

1등 끄는 엄마 손길 2등 만큼 밝은 내일

되었으므로 미국, 일본등지에서는 운전 기사용 색안경의 반수 이상이 이 플라스틱 렌즈일 정도로 보편화되어 있다. 재료로서는 CR-39(굴절률 1.5)가 주로 이용되고 있으나 이보다 굴절률이 높은 굴절률 1.6 정도의 소재도 실용화되어 있다.

프로젝션 TV용 렌즈는 외경이 100~150mm, 최대 두께 30mm 정도의 大口徑 렌즈 5~6장으로 이루어지므로 TV 1대분이 10kg 정도의 중량을 갖는다. 이 중량 문제를 해결하기 위하여 非球面 렌즈를 포함하여 3장의 렌즈로 이뤄진 광학계가 미국에서 처음 개발된 이후 일본의 미놀타 등 여러 회사가 개발에 성공하였다. 이것은 비구면을 이용하여 크기와 중량을 줄인 대표적인 예라 할 수 있다.

컴팩트 디스크 플레이어용 픽업 렌즈는 종래에는 3장의 구면 유리 렌즈를 사용하던 것을 한 장의 양면 비구면 플라스틱 렌즈로 바꿔 줌으로써 렌즈를 輕量化시킨 예이다. 이 경우에는 서보(Servo) 시스템에 의해 컴팩트 디스크의 트랙(Track)을 추적해야 하므로 렌즈부의 輕量化가 무엇보다 절실하며, 오토 포커스(Auto Focus) 기구가 붙어 있으므로 열팽창에 의한 초점거리 변화등은 문제가 되지 않는다.

몇년 전 某 제과회사에 의해 판촉물로서 제작된바 있는 프레넬 렌즈의 경우는 가공성이 우수하다는 점을 이용한 것이다. 이 렌즈는 대구경의 렌즈에서 두께가 두껍기 때문에 일어날 수 있는 중량상의 문제를 해결하는 방안으로 개발된 것으로 애초에는 등대용 등불의 集光 렌즈로 사용되었다. 그 뒤에 서치라이트(Search Light)용 集光 렌즈, 오버헤드 프로젝터(Overhead Projector) 렌즈, 플라스틱으로 된 간편한 돋보기나 줄보기 등 다방면에 쓰이게 되었다.

저급 카메라와 인스턴트 카메라등에서 사용되는 플라스틱 비구면 렌즈 역시 그 가공성에 기인

한다. 폴라로이드사에서는 하이브리드화된 비구면 렌즈를 인스턴트 카메라에 사용하고 있는데, 이는 플라스틱 렌즈만으로는 色収差를 없애기 어렵기 때문이다.

고급 카메라용 렌즈에도 플라스틱 비구면 렌즈의 사용이 시도되었으나 광학특성의 심한 온도 의존성 때문에 현재는 그 실용화가 주춤하고 있는 실정이다. 이밖에도 렌즈라고는 할 수 없으나 플라스틱 소재를 광학적으로 이용하고 있는 예로는 컴팩트 디스크, 자동차 테일 라이트 커버(Tail Light Cover), 광 메모리 카드등을 들 수 있으며, 이들은 주로 가공성이 좋다는 점을 이용하고 있다. 또한, 플라스틱은 유리에 비하여 적외선 영역에서의 투과도가 좋으므로 광통신 분야등에 널리 쓰이게 될 전망이다. 국내에서도 이미 몇몇 분야에 이러한 비구면 렌즈들이 쓰이고 있으며 안경용 플라스틱 렌즈와 플라스틱 구면 렌즈의 일부가 생산되고 있으므로 결상용의 비구면 렌즈도 수년내에 국내에서 생산이 가능해질 것이다.

맺는 말

앞에서 살펴본 바와 같이 플라스틱 비구면 렌즈는 아직 그 개발의 초기 단계에 머무르고 있으며, 앞으로 그 응용범위의 확대는 더욱 加速化될 전망이다. 하지만 그 사용을 보편화시키기 위해서는 새로운 광학 플라스틱 소재의 개발과 금형 제작, 射出, 검사기술의 개선 및 금형의 수명을 높이는 문제등 해결해야할 문제점들이 많이 남아 있다. 이러한 문제점들의 해결을 위하여 많은 연구와 개발이 이뤄지고는 있으나 플라스틱 자체가 갖는 단점을 완전히 없앨 수는 없을 것이므로 기존의 유리로 만들어진 렌즈들이 완전히 사라지기 보다는 공존하면서 서로의 단점을 보완해 주는 방향으로 사용될 것이다.

*