환경대책 광학유리와 렌즈

1990년대 들어서면서 광학업체에도 환경보호 개념이 도입되고 있다. 렌즈를 가공할 때에 발생하는 찌꺼기에는 상당량의 납이 포함되어 있어, 이로 인한 토양 오염이 우려돼 왔다. 캐논은 1993년 납이 포함되지 않은 광학유리만으로 설계해 제작한 SLR카메라용 렌즈를 발표했다. 또 1990년대 중반을 지나면서 기술이 크게 성장한 글라스몰드에는 처음부터 환경문제를 고려해 납을 포함하지 않은 광학유리가 공급됐다. 캐논 생산기술연구소 디바이스프로세스 제 3연구실 나카타 고우헤이(中田 耕平)의 글을 통해 이를 살펴 본다.

자료 : 사진공업, 2000년 9월

개 요

광학유리에는 여러 종류의 성분이 포함되어 있다. 그 가운데서도 산화연(酸化鉛, PbO. 이하 산화납)은 고굴절률을 갖는 데 무엇보다 유력한 성분의 한가지로, 옛날부터 고굴절률 유리인 프린트글라스의 주요성분으로 이용되어 왔다. 산화납(PbO)을 많이 포함시키면 굴절률은 커지지만 동시에 분산도 커지게 된다.

1991년 당시 광학유리 메이커의 카탈로그에는 250종류에 가까운 광학유리가 있었으나 그 가운데 거의 반수가 산화납(PbO)을 함유하고 있었다.

그림 1에 굴절률과 분산에 대한 산화납(PbO)의 함유량 개요를 나타냈다.

광학유리의 종류는 쇼트사의 표기법을 사용하고 있다. 납 함유 유리는 유리분류 도표에서 일본열도의 혼슈우(本州)형상에 해당하는 부분에 분포하고 있는 것을 알 수 있다. F의 프린트 계에서 시작된 고굴절률 유리는 그림 가운데 아래쪽 영역인 저 굴절, 저 분산 측에서는 LF, LLF, KF 쪽으로 발전해 왔다. 그림 오른쪽에 해당하는 영역인 고 굴절, 고 분산 측에는 SF쪽으로 발전해 왔다.

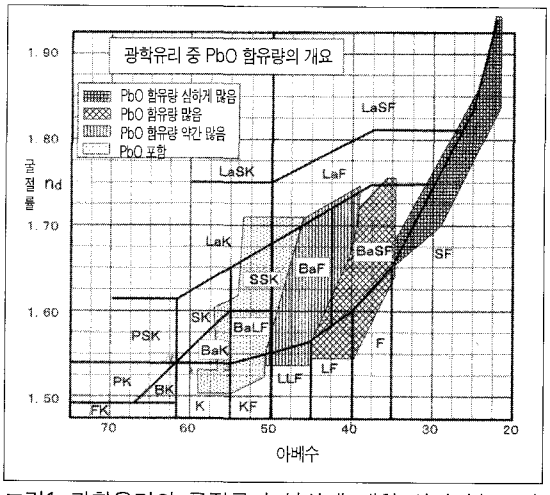


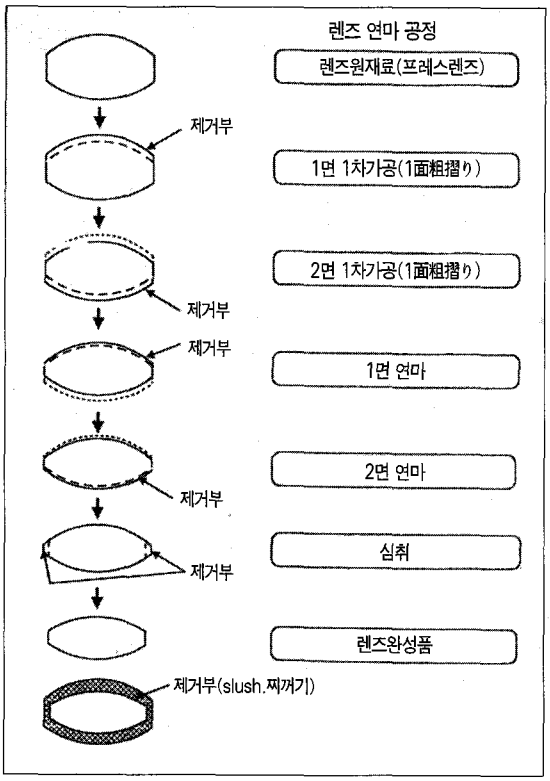
그림1. 광학유리의 굴절률과 분산에 대한 산화납(PbO) 함유량 개요

더욱이 그림 가운데로 넓게 퍼져있는 부분에 해당하는 중 굴절, 중 분산 측에는 BaK, BaLF, SSK, BaF, BaSF 등의 유리 쪽으로 발전하고 있다.

굴절률이 커짐에 따라 산화납(PbO)의 함유량이 증가하고 있다.

렌즈의 연마공정에서 나오는 납의 용출(溶出)

그림 2에서는 렌즈의 연마공정을 나타냈다.



*참고-粗摺り : 본격적인 연마에 앞서 1차적으로 거칠게 연마

그림2. 렌즈 연마공정

렌즈의 원재료인 프레스렌즈는 대체적으로 최종적인 렌즈형상에 가까운 모양으로 공급된다. 볼록렌즈의 경우 이 프레스렌즈의 형상은 바둑돌 모양이다. 이 바둑돌 모양의 프레스렌즈를 거친 연마에 의해 개략의 렌즈형상까지 가공한 후에 최종적인 광학 면을 갖는 렌즈까지 연마를 한다.

렌즈로 된 경우 렌즈중의 납은 고정되어 있기 때문에 외부로 용출되는 것은 극히 미미한 양이다. 그러나 렌즈를 가공할 때 발생하는 폐기물,

캐논은 세계에서 가장 많은 렌즈를 생산하고 있는 메이커로서 1991년에 납을 포함시키지 않은 광학유리의 제품화가 필수적이라고 생각, 경량화라는 관점에서 이미 납 프리(free. 제거)화를 추진하고 있던 광학유리 메이커와 함께 개발에 착수했다.

즉 유리 찌꺼기(slush)는 미립자이기 때문에 표면적이 매우 크고 납의 용출은 무시할 수 없는 정도이다. 종래에는 폐기 전에 유리 찌꺼기(slush)를 처리하였다.(폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률에 정해진 방법)

토양오염에 대한 대책을 지금까지 이상으로 추진하기 위해서는 광학유리에서 납을 제거할 필요가 있다. 캐논은 세계에서 가장 많은 렌즈를 생산하고 있는 메이커로서 1991년에 납을 포함시키지 않은 광학유리의 제품화가 필수적이라고 생각, 경량화라는 관점에서 이미 납 프리(free. 제거)화를 추진하고 있던 광학유리 메이커와 함께 개발에 착수했다.

납 프리(free) 렌즈

산화납(PbO)을 대신하는 고 굴절률 성분으로서 산화티탄(TiO_2), 산화니오브(Nb_2O_5) 등이 있다.

이들 화합물은 물에 녹지 않고 국가연합의 분류 정의상 위험 유해물 혹은 위험물에 해당되지 않는다.

그림 1의 유리분류 도표에서 그림 중앙의 왼쪽 아래 영역의 유리에서는 산화납(PbO)의 함유량은 10중량% 이하이지만 오른쪽 위 영역의 유리에서는 50중량%가 넘는다. 많은 것은 75중량%에 달하는 것도 있다.

1993년 무렵에는 광학유리 메이커 업계에서 환경대책이 진행, 종래부터 납을 포함하지 않은 광학유리도 포함해서 100종류 이상의 광학유리가 환경대책 광학유리로 제품화되었다.

굴절률, 분산 및 다른 물성에 대한 기여도는 산화납(PbO)과 산화티탄(TiO_2), 혹은 산화니오브(Nb_2O_5)에서 각각 크게 달라지는데 산화납(PbO)을 포함시킨 유리의 조성에서 산화납(PbO)을 그대로 산화티탄 혹은 산화니오브로 교체하면 굴절률을 비롯한 광학유리의 성질이 크게 변해버린다. 그렇기 때문에 유리조성 전반에 걸쳐 조정 · 변경을 하는 것으로 굴절률을 적합하게 한다.

이 결과 같은 광학적 성질(굴절률이나 분산)을 갖는 광학유리도 납 프리(free. 제거)화를 추진하는 것에 의해 조성이 크게 달라진다.

조성을 조정할 때에는 광학적 성질 외에도 제조상의 난이도가 상승하지 않거나 내구성이 떨어지는 등 다면적인 고찰이 필요하다. 이렇게 하여 시제작된 광학유리로 렌즈를 시제작해 광학 성능과 내구성 등의 평가를 통해 시제작 광학유리의 양호와 불량(良不)을 판단한다. 피드백을 반복하고 결과가 좋아지면 양산유리로 실용화된다.

산화납(PbO)을 산화티탄(TiO_2), 혹은 산화니오브(Nb_2O_5)로 대체하는 것에 의해 굴절률, 분산 이외의 물성은 변한다.

일반적으로 내구성은 향상되고(특히 렌즈표면의 내수성이 향상한다.), 열적 성질은 높게 되며 비중은 작아진다.(렌즈의 경량화에 기여한다는 메리트도 생긴다.)

한편 빛의 투과율 변화나 제조방법 난이도로 코스트가 상승하는 문제(원재료베이스로 산화티탄[TiO_2]은 산화연[PbO]의 약 3배, 산화니오브[Nb_2O_5]는 약 30배의 가격)를 해소해야 하는 불리함도 존재한다.

〈사진 1〉 납 프리 유리로 설계 · 제조된 캐논 EF28~80mm F3.5~5.6 II USM

1993년 무렵에는 광학유리 메이커 업계에서 환경대책이 진행, 종래부터 납을 포함하지 않은 광학유리도 포함해서 100종류 이상의 광학유리가 환경대책 광학유리로 제품화되었다.

1993년에는 설계 당초부터 납 프리 유리만으로 설계 · 제작한 SLR카메라용 렌즈 캐논 EF28~80㎜ F3.5~5.6Ⅱ USM 렌즈를 발표했다. 사진 1에 이 렌즈의 외관을 나타냈고 사진 2는 그 렌즈를 구성하는 납 프리 렌즈 단일물체이다.

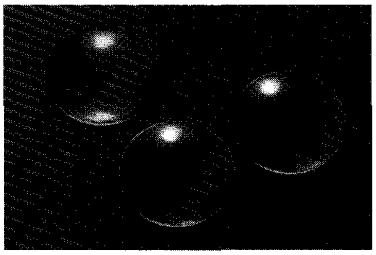
새로운 超 저분산(低分散)유리 개발과 비구면렌즈의 공급

광학유리는 메이커 전체의 카탈로그상 종류가 정리되어 120종 남짓 된다. 광학설계자로서는 크게 많은 것은 아니지만 이 수준에 있다면 실용상 큰 문제는 되지 않으리라고 판단하고 있다.

한편 광학유리의 라인업을 증가시키려는 시도가 추진되어 광학유리 메이커 각사에서 그림 1 유리분류 도표의 왼쪽 아래의 초 저분산 유리를 개발했다. 이들 유리는 당초부터 납을 포함시키지 않은 유리였다.

같은 시기에 비구면렌즈 사용이 증가한 것에 대해서는 몇 가지 요인이 있다. 렌즈를 구면에서 비구면으로 하는 것에 의해 광학성능의 향상이나 고사양화(高仕様化) 등의 메리트가 생긴다.

〈사진 2〉 캐논 EF28~80mm F3.5~5.6 II USM를 구성한 납 프리 렌즈

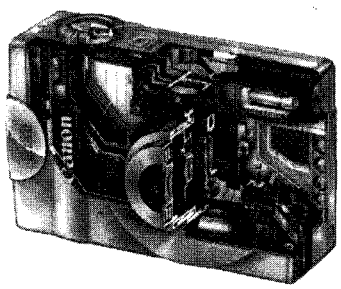


예전에 비구면 렌즈는 링접시라는 공구를 사용하여 이른바 '장인기술'을 가진 '명인'의 손에 의하여 감과 경험에 의해 만들어졌다. 필자도 고성능 대구경 비구면 렌즈를 동경하였다.(木村伊兵衛氏를 선망하였다.) 이런 렌즈는 성능도 좋지만 매우 고가였기 때문에 손에 넣기 어려웠다. 뒤에 연삭 가공과 균등 연마라고 하는 프로세스 기술의 확립 및 가공기계나 계측기의 개발에 의해 양산기술이 확립됨에 따라 가격이 내려가게 되었으나 아직 그림의 떡이었다.

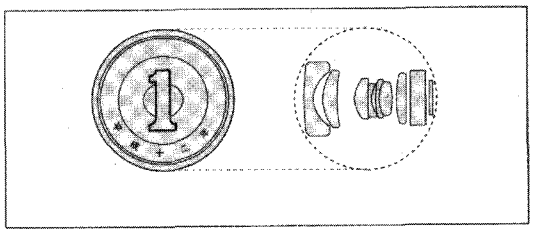
이 기술도 글라스몰드(Glass Mold)기술이라는 1쇼트로 비구면 렌즈를 성형하는 기술에 따라 잡히게 되었다.

글라스몰드기술에 대해서는 이미 많이 알려져 상세하기 설명하지 않겠다. 글라스몰드기술도 개발 당초는 정도, 생산성, 사용할 수 있는 유리재료의 제약 등의 문제점도 있었으나 1990년

〈사진 3〉 캐논 IXY디지털



〈그림 3〉 캐논 IXY디지털의 렌즈 구성



대 중반을 지나면서 기술이 크게 성장하여 대폭적인 원가절감이 가능케 되어 많은 렌즈에 글라스몰드 비구면 렌즈가 사용되었다.

이 글라스몰드에 광학유리 메이커 각사는 각종 저연화성(低軟化性) 광학유리를 공급했다. 저연화성 광학유리는 종래의 광학유리와 같이 광학적 성질(굴절률과 분산)을 가지고 보다 낮은 온도에서 유리를 성형할 수 있다. 이 유리도 개발 당초부터 환경대책을 고려하여 산화납(PbO)을 포함하지 않은 것으로 개발되었다.

최근의 환경대책 유리를 사용한 예로 디지털 카메라의 캐논 IXY디지털(사진 3)의 렌즈구성을 나타냈다.(그림 3)

당시는 곤란했으나 그 뒤 개량된 예로 이상분산(異常分散) 유리를 들 수 있다. 당시의 이상분산유리는 산화납(PbO)을 제거하는 것에 의해 광학적 특징인 이상분산성을 상실하였기 때문에 납 성분을 없애기가 어려웠다. 당시 광학기기 메이커로서는 반드시 납 프리화를 실현하고자 한 유리 종류(硝種)였다. 최근에는 광학유리 메이커 각사의 유리성분과 광학적 특성의 연구가 진행되어 납 프리 이상분산유리가 가능케 되었다.

앞으로도 광학기기 메이커의 요망에 따라 광학유리 메이커에서는 넘어야 할 수밖에 없는 모든 문제를 계속 개량하여 환경대책유리로서 개발을 더욱 진행시켜 나갈 것을 기대하고 있다.