

질문)

망원경 렌즈에 빨강계 칠하면 적외선부근의 붉은 빛을 더 많이 받아 밤에 시야를 더 확보할수 있다던데 이게 말이 맞는건가요? 적외선은 물론 붉은빛 파장에서 파장이 약간 더 긴 것이지만 그걸가지고 시야를 더 확보할수 있다는게 잘 이해가 안되네요
그리고 더 궁금한건 렌즈는 빨강계 칠해져 있는데 왜 낮에 그 망원경으로 사물을 보면 빨강계 보이지 않고 그냥 투명한 렌즈를 통해 보는것처럼 보일까요???

쌍안경을 살 때 항상 듣는 말 중 하나가 코팅을 고를 때 색깔을 잘 보고 사라는 말이다. 필자는 무슨 색 코팅이 좋다, 나쁘다 라는 말을 들으며 "과연반사광의 색깔로 코팅을 평가할 수 있을까?"라는 의문이 생겼다. 지금부터 이어지는 글은 Carl Zeiss, Nikon, Pentax 홈페이지에서 얻은 자료들과 기술정보 서비스에 문의하여 얻은 자료들로 이루어져 있다.

유리는 얼마나 투명한 것일까? 이 질문에 답하기 전에 먼저 "투명한 정도"를 이야기할 필요가 있다. 광학에서 정의하는 "투명도"는 입사되는 빛과 투과되는 빛의 비율이다. (간단하죠?) 유리의 투명도를 측정한다고 하면유리판이 없을 때 어떤 광원의 밝기를 측정한 것과 유리판을 대고 광원의밝기를 측정한 비율을 계산하면 된다는 이야기다.

또 다른 방법으로는 반사율을 측정해서 "투명한 정도"를 정의할 수 있다. 형광등 아래에 유리판을 놓고 내려다보자. 당연히 형광등이 반사되어 보일것이다. 유리는 빛을 완전히 통과시키지 않는다. 즉, 투명도(이제부터 투과율로 부르겠다)가 100%가 아니라는 이야기다.

투과율이 낮다는 것은 반사율이 높다는 뜻인데, 이 경우에 어떤 일이 일어나는지 살펴보자.

1) 투과율이 낮다면 당연히 같은 별을 보더라도 유리판을 대지않은 상태보다 어둡게 보일 수 밖에 없을 것이라는 걸 예상할 수 있다. 보통 유리판은 표면이 평평하게 연마된 경우 수직으로 빛이 들어올 때 4% 정도가 반사된다. 즉, 96%가 통과한다는 의미이다. 그렇다면 10 장을 포개면 어떻게 될까?
 $(0.96)^{10} = 0.66$, 66%만이 통과하게 된다.

2) 큰 거울 두 장 사이에 들어가서 거울쪽을 바라보면 무수히 많은 자신을 볼 수 있다. 앞에서도 말했지만 유리판은 일부는 반사시키고 일부는 통과시키는데, 빛이 비스듬하게 들어올 경우 내부반사를 거치면 밝은 광원의 경우에 1 개가 아닌 여러 개로 나누어져서 보이게 된다. 이것이 바로 달이나 태양을 찍을 때 곤잘 나타나는 고스트(Ghost)현상이다. 그렇지만 꼭 밝은 광원이 아니더라도 다중반사를 거쳐 빛이 퍼지게 되어 콘트라스트가 저하되는 현상이 발생한다.

3) 파장에 따라 굴절률이 달라 일어나는 현상 중 색수차라는 것이 있다. 반사율도 굴절률과 관계있는 만큼 파장에 비례하게 되는데, 경계면에서 반사율이 높으면 내부반사를 거쳐 대상이 무지개색으로 보이게 된다. (다큐멘터리나 영화에서 시선이 태양에서 대상으로 이동할 때 보이는 광채가 그것)

요약하면, 1) 빛의 손실이 많다. 2) 콘트라스트 저하, 고스트 발생 이다.

이런 단점들을 보완하기 위해 개발된 것이 무반사코팅(anti-reflection coating ; AR coating)이다. (여기서부터는 "코팅"자체에 의한 것만 이야기한다. 유리의 흡수율은 잠시 무시한다.)

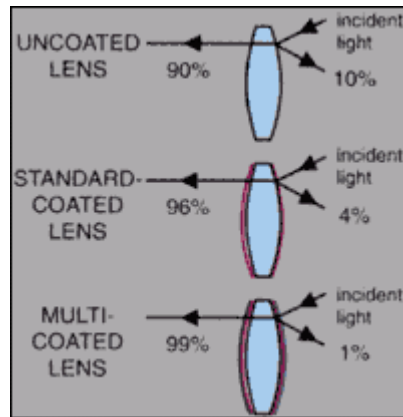
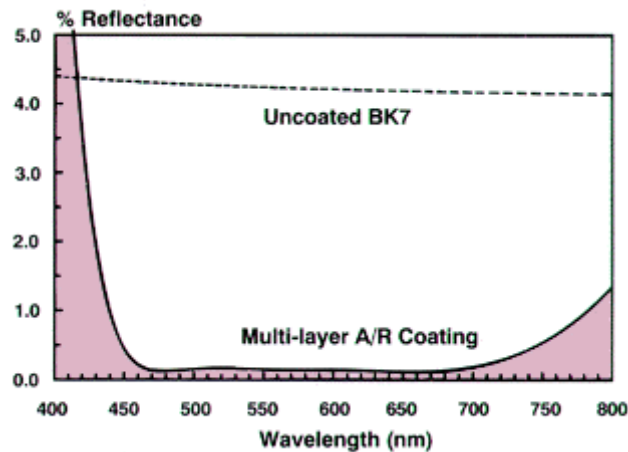


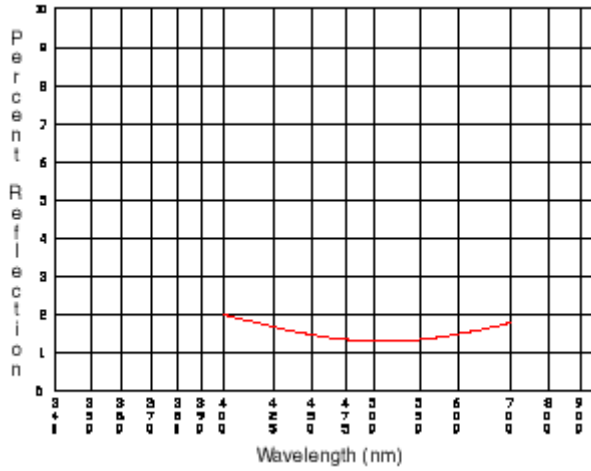
그림 : 코팅과 반사율

AR 코팅은 20 세기에 들어와 진공박막증착기술이 발전하면서 함께 발전해왔다. 현재, 최근에 개발된 Carl Zeiss 의 T*coating 의 경우는 9 층의 박막으로 구성되어있고 역시 가시광선 영역에서 0.0% 미만의 반사율을 보인다고 한다.

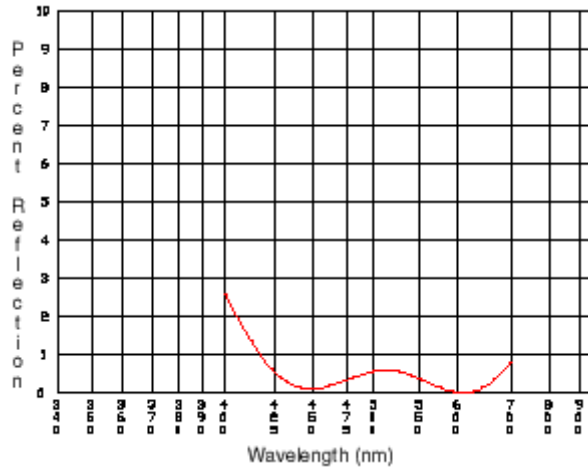
AR 코팅의 목표는 가시광선 전 영역에서 100%에 최대한 가까운 투과이다.



그래프 : 코팅의 유무에 따른 반사율



그래프 : AR 코팅 Single Graph



그래프 : AR 코팅 Multilayer Graph

가장 많이 쓰이는 MgF2 코팅의 경우는 가시광선 전 영역에서 1.5% 정도의 반사율을 보인다. (물론 코팅된 렌즈면 하나당 1.5%. 렌즈가 많아지면 조금씩 더 높아지지만 2%를 넘지 않는다.) 물론 코팅을 하지 않은 렌즈보다는 글레어, 고스트, 광량손실이 현저히 줄어들지만 여전히 밝은 광원에 대해서는 좋지 않은 상을 보여준다.



사진 : 강한 광원에 의한 글레어현상

최근에는 가시광선 영역에서 0.x% 정도의 반사율, 즉 99.x%의 투과율을 보장하는 코팅기술들이 많이 개발되어 있다. 현재 개발되어 있는 AR coating 은 회사마다 특허가 나와있고 Pentax 의 SMC, Zeiss 의 T coating, Celestron 의 Z-coating 등이 있다.

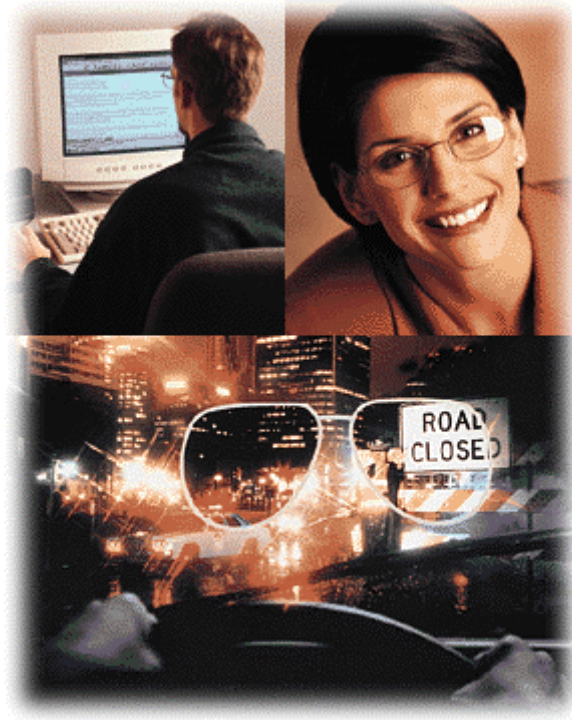
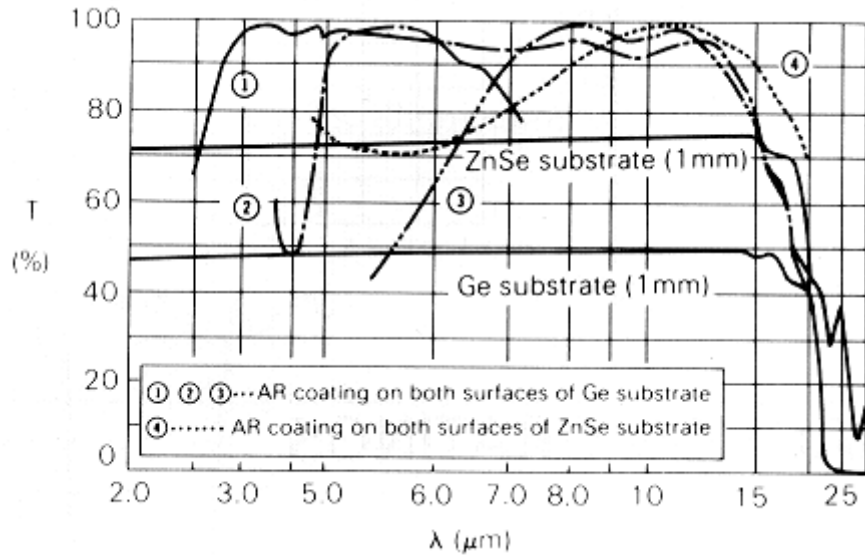
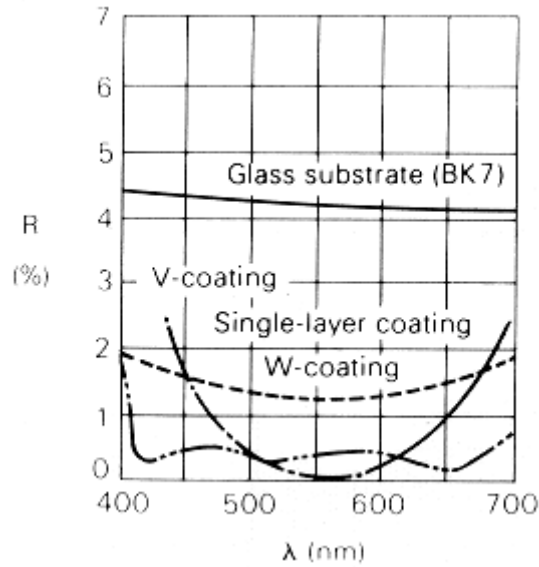


사진 : Pentax 사의 코팅 광고

정확한 제원은 나와있지 않지만, Normal coating (MgF2)의 경우는 1~2%, 그 외에 각 회사에서 이름을 내걸고 있는 코팅의 경우는 0.5% 정도라고 생각하면 된다. (보통은 당연히 fully multicoated 이다.) 앞에서 말했지만, 여기서 말하는 것은 "코팅에 의한 렌즈 표면(!)"에서의 반사율을 뜻한다. 두꺼운 렌즈가 여러 장일 경우는 더 높은 반사율을 보인다.

AR 코팅의 일반적인 구조는 아래와 같다.



그래프 : AR 코팅의 구조

자, 반사율의 목표달성은 어느 정도 된 셈이다.

하지만, 소비자는 이런 세부 스펙에 대해서 알 방법이 없다. 여전히 많은 사람들이 "적당한 가격"의 물건을 원할뿐, 고급제품에 관해서 객관적이고 세부적인 평가는 아직 없다. (단지, 어떤 제품이 어떤 제품에 비해 콘트라스트가 좋은 것 같더라.라는 식의 주관적인 평가뿐이다.)

코팅의 색깔을 가지고 코팅을 평가하는 것은 제대로 된 것이라고 보기는 어렵다. 코팅의 목적은 어디까지나 반사율을 낮추는 것이고, 전 가시광선 영역에서 똑같은 반사율을 가질 수는 없기때문에 코팅이 커버할 수 있는 영역의 바깥쪽에 해당하는 빛들이 조금 더 잘 반사되는 것 뿐이기 때문이다.

인간의 눈이 가장 민감한 영역은 580~600nm 정도의 파장에 해당하는 황색 영역이라고 한다. (1nm는 $10^{-9}m$ 이다.) 그래서 대개 황색영역에서 반사율이 가장 낮게 설정된다. (한 파장에 대해 반사율을 낮게 만드는 것을 V-coating 이라고 한다.) 그리고 가시광선의 바깥 영역인 400 이하, 650 이상의 영역에서 반사율이 다시 증가한다. 이 부분이 보라색(violet), 적색(red) 영역이다. (두 색의 조합은 자

주색(magenta)에 가깝다) 그래서 보통 전 가시광 영역에서 고른 반사율을 보이는 경우는 약한 자주색을 보이게 된다. 가시광선 영역에서 두 파장에 대해 낮은 반사율로 설정하는 경우(W-coating)도 많은데 보통 가운데에 해당하는 녹색의 반사율이 상대적으로 높아진다. (그래도 0.5% 이하가 보통이다)

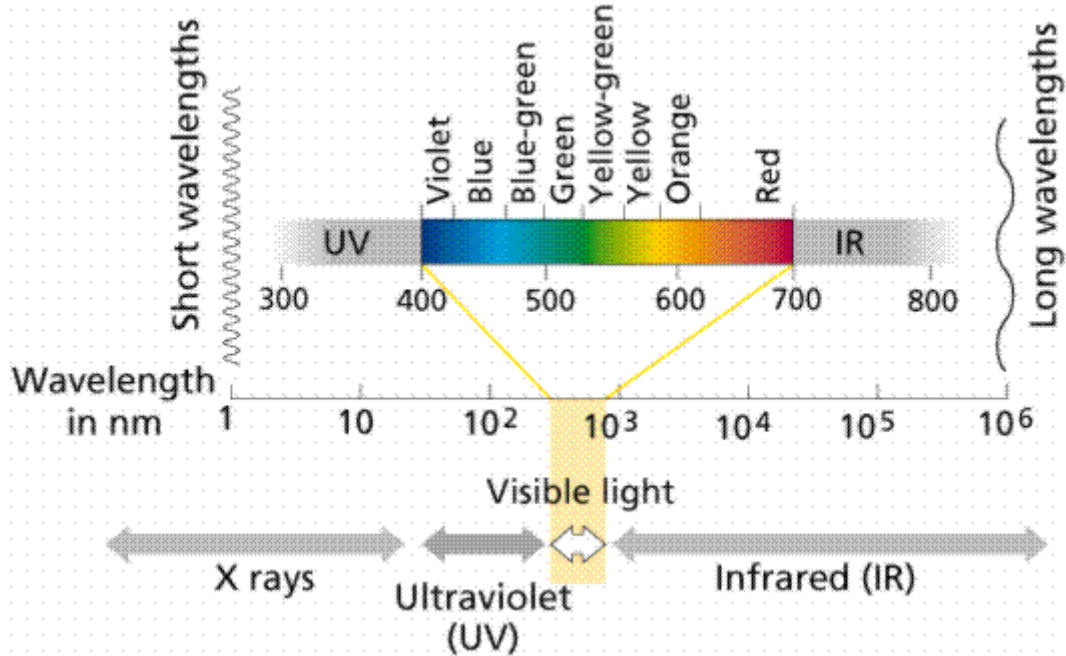


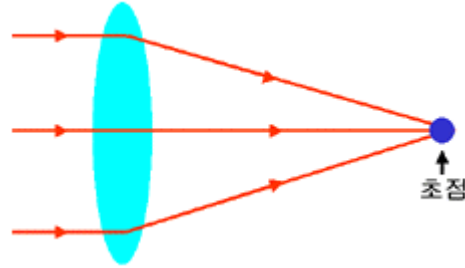
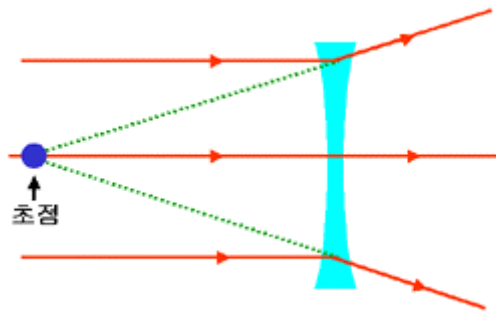
그림 : 빛의 스펙트럼

결론을 내려보면, 코팅에서 반사되는 색 중에 어느 한가지가 유난히 두드러지지 않는 한 (어떤 특정 영역에서 반사율이 이상하게 높다는 뜻) 코팅의 색은 가시광선 영역에서 얼마나 고르게 빛을 투과시키느냐의 문제일 뿐이라는 것이다. 아직까지는 투과율이 199/200 ~ 999/1000 정도이니 그 차이가 큰 트라스트나 밝기에 영향을 미쳐서 눈에 보일 정도인지도 모르겠다. 하지만, 렌즈나 프리즘 등의 흡수율을 따지면, 고급 코팅에서 색깔에 의한 구분은 무의미하다는게 필자의 생각이다. (렌즈에 사용되는 유리의 흡수율은 매우 낮지만, 반사와 흡수가 존재하는 5mm 두께의 일반 플로트 유리의 경우 투과율이 81.3% 정도이다.)

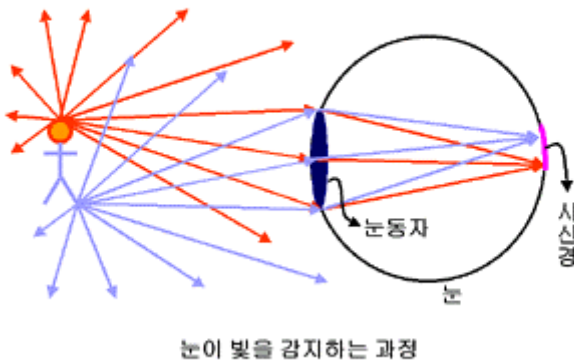
마지막으로, 아마추어들이 고급기기를 구입하기 전에 저런 세부스펙에 대해 알아볼 수 있도록 공개가 되었으면 하는 생각이 들었다.

첨언: 최근에 전화로 "Zeiss 의 T coating 이 수차를 잡아준다는데 사실이냐?"라는 문의를 받은적이 있었다. 아마도 콘트라스트를 높여주고 고스트 현상이 약해지는 것을 두고 한 말인 것 같다. 수십 nm 정도의 coating 이 수 cm 의 유리에 의해 발생하는 수차현상을 제압할 수는 없다는 것을 알려둔다.

망원경의 종류와 원리



망원경
은
렌즈와
렌즈
혹은
거울과
렌즈의



눈이 빛을 감지하는 과정

합성으로 만든 것이다. 따라서 망원경의 원리를 이해하려면 먼저 렌즈와 거울 및 사람 눈의 구조와 원리에 대해 알아 볼 필요가 있다.

(1) 렌즈 및 사람 눈의 구조와 원리 - 렌즈의 원리

왼쪽 첫 번째 그림처럼 평행광이 볼록렌즈를 통과하면 한 점에서 초점을 맺게 된다. 이 때 렌즈와 초점

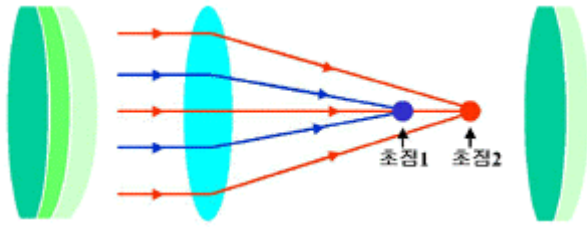
사이의 길이를 그 렌즈의 초점거리라 한다. 역으로 렌즈로부터 그 렌즈의 초점거리만큼 떨어진 곳에서 빛이 사방으로 흩어지면 그 중 렌즈를 통과한 빛은 평행광이 된다. 볼록렌즈는 돋보기, 원시용 안경, 현미경, 망원경 등에 이용된다.

두 번째 그림은 오목렌즈로 평행광이 입사하는 경우를 나타낸 것이다. 평행광이 오목렌즈로 입사하면 마치 오목렌즈로부터 떨어진 한 점에서 렌즈를 통해 빛이 사방으로 방출되는 것처럼 퍼져나가게 된다. 그 점에서 오목렌즈까지의 거리를 그 오목렌즈의 초점거리라 한다. 역으로 오목렌즈의 초점을 향해 입사되는 빛은 렌즈를 통과하면서 평행광이 된다. 오목렌즈는 줄보기, 근시용 안경 등, 망원경 등에 이용된다.

- 사람 눈의 인식 구조

왼쪽 그림이 사람의 눈이 어떻게 물체를 보게되는가를 나타낸 그림이다. 그림에서처럼 눈으로부터 적당히 떨어진 곳에 물체(사람)가 있다고 하자. 그러면 햇빛이나 등불 등에서 나온 빛이 사람의 신체 부위에 부딪혀 사방으로 산란되면 그 중 일부는 사람의 눈동자 안으로 입력되게 될 것이다. 이 때 눈동자는 볼록렌즈와 같은 역할을 하게된다.

따라서 머리카락 두에서 흐어지 비의 인부는 가가 누두자르 투관하 호 시시경이 인느



곳에서 초점을 맺게 된다. 이 때 시신경에 맺어지는 상은 그림처럼 실제 모습을 뒤집은 꼴로 되는데 사람의 뇌는 이를 다시 원래의 모습으로 인식하게 된다.

- 투과율과 무반사 코팅

렌즈는 유리나 플라스틱 등으로 만드는데 재료의 전기적 특성상 렌즈로 입사하는 모든 빛이 렌즈를 통과하지는 못한다. 즉, 일부는 반사된다. 렌즈의 투과율은 입사되는 빛의 총량에 대한 투과되는 빛의 양을 비율로 나타낸 것으로 일반적으로 투과율이 높은 렌즈가 좋은 렌즈이다.

렌즈의 투과율을 높이기 위해 렌즈의 표면에 유전물질(전기가 잘 통하지 않는 물질)의 얇은 박막을 입히는 방법이 있다. 이렇게 렌즈의 표면에 코팅을 하게 되면 투과율을 98% 이상으로 높을 수 있으며, 투과율을 높이기 위해 코팅된 렌즈를 무반사코팅렌즈라 부른다.

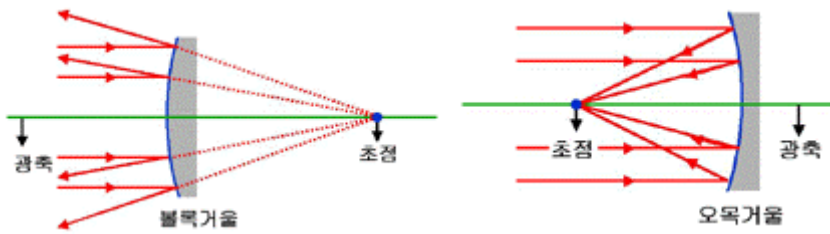
- 색수차

왼쪽 첫 번째 그림처럼 사실은 렌즈를 통과하는 모든 평행광이 한 점에서 초점을 맺는 것은 아니다. 즉, 붉은 빛은 먼 곳에서, 푸른 빛은 가까운 곳에서 초점을 맺게 된다. 이처럼 빛깔에 초점이 다른 곳에서 맺게 되면 결국 물체의 모습이 깨끗이 보이지 않게 되는데 이를 색수차라 한다.

색수차를 제거하는 방법으로는 굴절률이 다른 재료의 유리를 두 개 이상 겹쳐 사용하는 방법이 있다. 아크로메틱 렌즈란 위의 두 번째 그림처럼 굴절률이 다른 두 개의 렌즈를 합성해 만든 것으로 붉은 색과 푸른 색이 한 점에서 초점을 맺게 된다. 이렇게 하면 다른 색들도 거의 비슷한 곳에서 초점을 맺게 되어 색수차가 어느 정도 제거된다. 그러나 색수차를 보다 완벽히 제거하는 방법으로는 세 번째 그림처럼 굴절률이 다른 세 개의 렌즈를 중첩시키는 방법으로 이를 아포크로메틱 렌즈라 부른다.

아포크로메틱 렌즈의 종류 중에는 ED 렌즈, SD 렌즈, 프로라이트(형석) 렌즈 등이 있는데 학술적 표현 방법은 아니나 널리 사용되는 용어이다. 사용되는 유리의 재질에 따라 이들 간의 구분이 된다. 아포크로메틱 렌즈는 색수차가 잘 보정된다는 장점이 있으나 지나치게 가격이 비싸다는 단점 때문에 전문가가 아니면 특별히 사용할 필요는 없다.

(2) 거울의 구조와 원리



- 거울의 원리

거울의 종류로는 오목거울, 볼록거울 및 평면거울 등이 있다. 오목거울은 원리상

볼록렌즈와 유사한 역할을, 볼록거울은 오목렌즈와 유사 역할을 한다. 아래 그림의 왼쪽 부분은 오목거울에 평행광이 입사했을 때를, 오른쪽 거울은 볼록거울에 평행광이 입사했을 때를 나타낸 것이다. 오목거울에 평행광이 입사하면 한 점에서 초점을 맺고 거울로부터 그 점까지의 거리를 그 거울의 초점거리라 한다. 역으로 초점에서 나온 빛은 거울에서 반사된 뒤 평행광을 만든다.

볼록거울에 평행광이 입사하면 마치 거울 뒤의 한 점에서 빛이 나오는 것처럼 반사되는데 거울에서 그 점까지를 초점거리라 한다. 역으로 초점을 향해 입사된 빛은 반사되면서 평행광을 만든다.

- 거울의 반사율

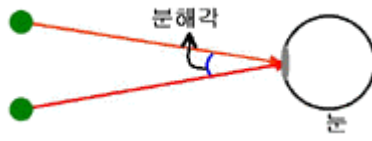
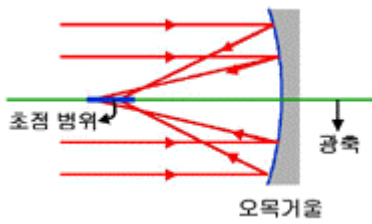
렌즈로 입사된 모든 빛이 렌즈를 통과하지 못하는 것처럼 거울에 부딪힌 빛이 모두 반사되지는 않는다. 렌즈의 경우 표면에 유전물질(전기가 잘 통하지 않는 물질)로 코팅(이를 무반사 코팅이라 함)함으로써 투과율을 높일 수 있다. 거울의 반사율을 높이기 위해서는 유리의 표면에 전기가 잘 통하는 물질로 코팅을 입히면 된다.

일반적으로 사용되는 코팅 재질은 알루미늄인데 반사율이 비교적 높으면서 부식이 잘 되지 않기 때문이다. 은을 사용하면 반사율을 더 높일 수 있으나 부식이 잘되고 파장 별로 반사율의 차이가 커 문제점이 있다. 시중에서 판매되는 소형 반사망원경의 거울에는 알루미늄 코팅에 실리콘을 다시 얇게 코팅시키는 경우도 있는데 부식을 방지해 거울의 수명을 늘리기 위해서이다. 대형반사망원경의 경우 단순 알루미늄 코팅을 하는데, 이 경우 적어도 2년에 한 번씩은 코팅을 다시 해 주어야 한다. 알루미늄의 반사율은 대략 85% 정도이다.

(3) 렌즈와 거울의 특성

- 집광능력

볼록렌즈나 오목거울로 입사된 빛은 초점에 모인다. 렌즈나 거울의 집광 능력은 이처럼 초점에 빛을 얼마나 많이 모을 수 있는냐를 나타내는 지수로 렌즈나 거울의 면적에 비례한다. 그러나 렌즈와 거울의 집광능력은 서로 약간의 차이가 있다. 렌즈의 집광능력을 떨어뜨리는 요인은 렌즈의 투과율에 있다. 즉, 렌즈로 입사된 빛이 얼마나 렌즈를 통과하느냐에 달려 있는데 투과율을 높이기 위해 무반사 코팅을 한다



거울의 경우 거울의 반사율과 부경 및 부경 지지대에 의한 빛의 차단 등이 집광 능력을 결정한다.

앞서 설명한 것처럼 알루미늄으로 코팅한 거울은 반사율이 85 % 정도이다. 일반적으로 반사망원경은 주경과 부경 등 두 개의 거울을 이용해 빛을 모으는데, 따라서 두 거울에서 반사된 뒤의 빛의 양은 입사된 양의 72 % 밖에 되지 않는다. 또한 부경이나 부경의 지지대 등에 의한 손실 등을 고려하면 실제 접안렌즈로 들어오는 빛의 양은 입사량의 65 % 정도밖에 되지 않는다. 따라서 구경 10 cm 반사망원경의 빛을 모으는 능력은 구경 8 cm 굴절망원경의 능력 정도에 해당된다.

- 분해능

왼쪽 그림처럼 눈으로부터 적당한 거리에 두 점이 있다고 가정하자. 만약 두 점이 사람의 눈으로부터 지나치게 멀리 떨어져 있거나 두 점간의 거리가 지나치게 가까우면 눈은 두 점을 구분하지 못한다. 분해능이란 두 점을 분해해서 볼 수 있는 최소의 각거리를 뜻한다. 사람의 눈은 분해능이 1/60 도(=1 분)이며, 렌즈의 분해능은 대략 $15''/D(\text{cm})$ 이다. 여기서 "는 1/3600 도이며, D는 cm 단위의 렌즈 지름이다. 즉, 렌즈나 거울의 분해능은 렌즈나 거울의 지름에 반비례하므로 렌즈의 지름이 클수록 적은 분해각(이를 분해능이 높다고 한다)을 갖는다.

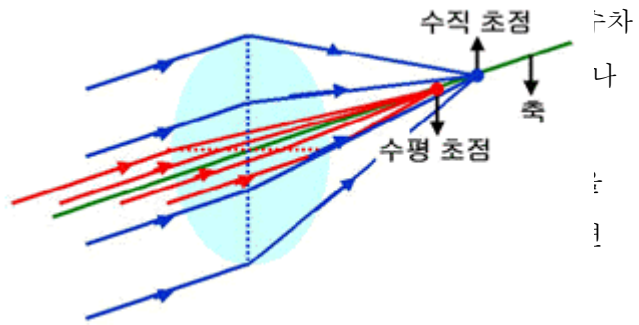
렌즈나 거울의 분해능은 렌즈나 거울의 지름 이외에도 연마 정도에도 관련이 있다. 렌즈나 거울이 이상적으로 연마되지 않았을 경우 초점이 제대로 맞지 못해 분해능을 떨어뜨리며, 반사망원경의 경우 부경 및 부경 지지대 역시 빛을 차단함은 물론 분해능을 저하시키기도 한다.

(4) 렌즈와 거울의 수차

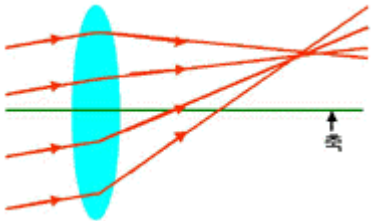
렌즈나 거울을 어떻게 만드느냐에 따라 빛이 한 점에서 초점을 맺지 못하거나 초점면이 곡면이 될 수도 있으며, 상이 찌그러져 보이기도 한다. 이를 렌즈나 거울의 수차라 한다. 수차의 종류로는 다음과 같은 것들이 있다. 여기서 색수차는 렌즈를 설명할 때 고려했으므로 생략한다. 색수차는 거울에서는 발생하지 않는다.

- 구면수차

위의 첫번째 그림처럼 거울을 구면(공의 일부를 잘라낸 단면)으로 만들 경우 거울의 중심부로 입사된 빛과 거울의 변두리로 입사된 빛이 맺는 초점의 위치는 서로 다른데 이를 구면수차라 하며, 렌즈의 경우에도 나타난다. 구면수차를 제거하는 방법은 렌즈나 거울을 비구면(예를 들면 포물면 등)으로 연마하는 방법 등이 있다.

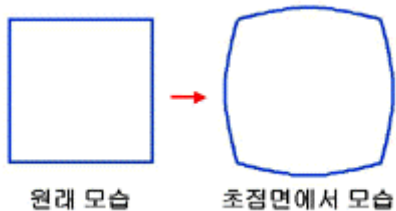


구면수차의 예시



축에 대해

두번째 그림처럼 한 점에서 초점을 맺지 못하고 점상이 마치 경우가 있는데 이를 코마수차라 한다. 코마수차는 렌즈나 빛은 나타나지 않고 축으로부터 경사가 심할수록 강하게 렌즈나 거울은 볼 수 있는 영역이 좁아진다.

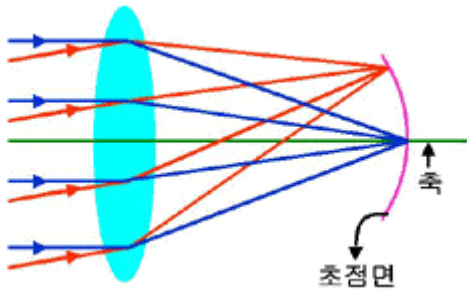


거울의 수직선을 따라 입사된 빛이 맺는 초점과 수평선을 치가 서로 달라 상이 한 점에서 초점을 맺지 못하는

성우를 비점수차다 한다. 비점수차를 일으키는 주요인은 렌즈나 거울에 무리한 힘을 가하여 찌그러는 경우이다. 사람 눈의 난시도 일종의 비점수차이다. 근시인 사람이 안경 없이 혹은 낮은 도수의 안경을 낀 상태에서 상이 잘 보이지 않아 자주 눈을 찌푸리면 그렇게 된다. 큰 거울이나 렌즈는 중력에 의해 찌그러져 비점수차가 나타날 수 있다. 특히 반사망원경은 대개 거울이 커서 비점수차가 잘 나타나며, 거울을 고정시키는 나사를 무리하게 힘을 주어 고정시키면 거울이 비틀어져 비점수차가 나타날 수 있다.

- 왜곡수차

위의 네 번째 그림처럼 실제 네모 모양이 각 방향으로 왜곡되어 맺히는 경우를 왜곡수차라 한다. 왜곡수차는 초점이 한 점에 맺히지 않는 것은 아니며, 단지 상이 찌그러진다는 것이다. 필요에 따라 일부러 그렇게 하는 경우도 있다.



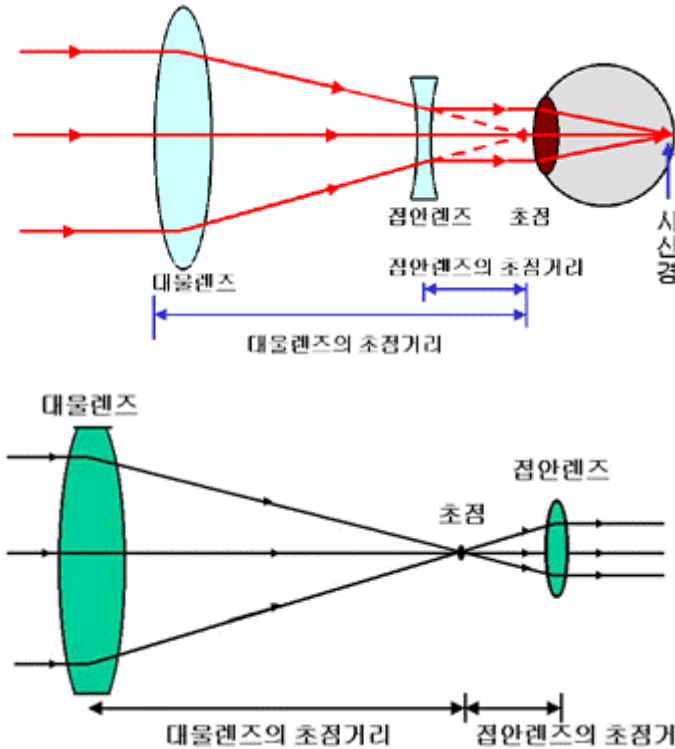
- 상면 만곡

위의 다섯 번째 그림처럼 평면이 아닌 곡면에 상이 맺히는 것을 상면만곡이라 한다. 상면만곡

역시 왜곡수차처럼 초점이 한 점에 맺히지 않는 것은 아니다. 따라서 사진을 찍을 때 필름을 굽어진 초점면에 맞추어주면 깨끗한 상을 얻을 수 있다. 반사망원경의 상면만곡을 해결하기 위해 주경과 부경을 모두 쌍곡면으로 만드는 경우가 있다(이를 리치-크레티앙식 반사망원경이라 함). 그러나 그렇게 하는 경우 초점이 길어져 성운, 성단 등의 사진 촬영에는 불리해진다.

제작 : 한국천문연구원, 경북대학교, 경희대학교, 부산대학교, 충남대학교, 충북대학교
허가없이 본 내용의 일부 혹은 전부를 무단 복제할 수 없음

굴절망원경



(1) 굴절망원경의 종류

굴절망원경은 빛이 렌즈를 통과할 때 굴절되는 특성을 이용해 빛을 모을 수 있도록 만든 망원경으로 갈릴레이식과 케플러식이 있다.

- 장점 : 동일 크기의 반사망원경에 비해 빛을 많이 모을 수 있고 상의 대조가 좋다.
- 단점 : 가격이 비싸고 색수차가 나타난다.

※ 굴절망원경의 색수차는 굴절률이 다른 두 개 이상의 렌즈를 복합해서 만들면 해결된다(아래 (2) 참조).

● 갈릴레이식 굴절망원경

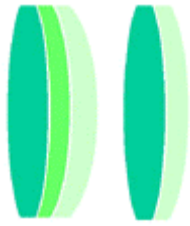
1608년 이탈리아의 안경 제조업자의 두 아들이 적당히 떨어져 있는 두 개의 렌즈가 망원경의 역할을 한다는 사실을 알게 되고, 이 사실을 들은 갈릴레이는 이듬해 자신이 직접 망원경을 제작하게 되는데, 대물렌즈를 볼록렌즈로, 접안렌즈를 오목렌즈로 구성해 만든 망원경(왼쪽 그림 참조)으로 이를 갈릴레이식 망원경이라 부른다.

- 장점 : 경통의 길이가 짧고 상이 정립(똑바로)으로 보인다.
- 단점 : 시야(볼 수 있는 영역)가 좁다.
- 용도 : 오페라 그라스, 측지용 등. 그러나 천문용으로는 이용되지 않는다.

※ 갈릴레이식 망원경이 시야가 좁은 이유 : 망원경의 시야(볼 수 있는 영역)는 접안렌즈의 시야에 비례한다. 즉, 접안렌즈의 시야가 넓을수록 넓은 영역을 볼 수 있다. 오목렌즈를 이용한 접안렌즈는 구조적으로 시야가 좁기 때문에 갈릴레이식 망원경의 시야는 좁다.

● 케플러식 망원경

1611년에 발표된 케플러의 저서에는 갈릴레이식과는 달리 접안렌즈를 볼록렌즈로 한 굴절망원경을 설계를 제시하였는데 이를 케플러식 망원경이라 한다. 케플러는 자신이 망원경을 직접 제작하지는 않았지만 그가 처음으로 설계한 망원경이라 하여 이를 케플러식 망원경이라 부른다. 구조는 왼쪽 그림과 같다.



- 장점 : 시야가 넓다.
- 단점 : 상이 도립(거꾸로)으로 보인다.
- 용도 : 천문관측 및 지상관측

※ 케플러식 망원경의 단점은 상이 거꾸로 보이는 것이지만 접안렌즈 앞에 직각프리즘(혹은 직각 거울)을 설치하면 정립(똑바로)으로 상을 볼 수 있다. 시중에 유통되는 대부분의 쌍안경이 케플러식 망원경이지만 이처럼 직각 프리즘이 설치되어 있어 마치 갈릴레이식 망원경처럼 상을 정립으로 볼 수 있다. 천체의 경우 거꾸로 보인다고 별 문제가 되는 것은 아니기 때문에 굳이 직각 프리즘을 사용할 필요는 없다.

(2) 대물렌즈의 종류와 특성

● 무반사 코팅 렌즈

빛의 대부분은 렌즈를 통과하지만 렌즈 재료의 전기적 특성에 의해 일부는 통과하지 못하고 반사하게 된다. 따라서 렌즈의 투과율을 높이기 위해서는 유전체 물질로 렌즈 표면을 코팅해야 하며, 코팅된 렌즈를 무반사 코팅 렌즈라 부른다. 투과율을 보다 높이기 위해서는 다른 재료의 물질을 여러 번 코팅하기도 한다. 무반사 코팅 렌즈의 대부분은 청색(어떤 것은 적색)을 띠고 있어 쉽게 알아볼 수 있다.

● 아크로메틱 렌즈

렌즈의 초점 위치는 빛의 색에 따라 다르다. 붉은 색일수록 먼 곳에서, 푸른색일수록 렌즈로부터 가까운 곳에 초점을 맺는다. 색에 따라 렌즈의 초점 위치가 다르면 상이 깨끗이 보이지 않는다. 즉, 청색이 잘 보이도록 조절하면 붉은 색이 흐려지고 역으로 붉은 색이 잘 보이도록 하면 푸른색이 흐려진다.

이 같은 문제는 왼쪽 그림처럼 굴절률이 다른 두 개의 렌즈를 합성함으로써 해결될 수 있다. 아크로메틱 렌즈는 붉은 색과 푸른색이 한곳에서 초점을 맺도록 설계된 렌즈이다.

● 아포크로메틱 렌즈

색수차를 보정하기 위해 고안된 것이 아크로메틱 렌즈이지만 이 역시 색수차를 완전히 제거하는 것은 아니다. 아포크로메틱 렌즈는 왼쪽 그림처럼 3 개의 굴절률이 서로 다른 렌즈를 이용해 만든 것으로 색수차가 거의 제거된다.

※ 아포크로메틱 렌즈의 종류 중에는 ED 렌즈, SD 렌즈, 프로라이트(형석) 렌즈 등이 있는데 학술적 표현 방법은 아니나 널리 사용되는 용어이다. 사용되는 유리의 재질에 따라 이들 간의 구분이 된다. 아포크로메틱 렌즈는 색수차가 잘 보정된다는 장점이 있으나 지나치게 가격이 비싸다는 단점 때문에 전문가가 아니면 특별히 사용할 필요는 없다.

● 렌즈의 성능

- 색수차 제거에 따른 성능 차이 : 앞서 지적한 것처럼 색수차가 잘 제거된 즉, 단일 렌즈보다는 아크로메틱 렌즈가, 아크로메틱 렌즈보다는 아포크로메틱 렌즈가 좋다. 그러나 이것만으로 렌즈의 성능이 결정되는 것은 아니다.

- 연마 정도에 따른 성능 차이 : 복합렌즈를 사용했다 할 지라도 렌즈의 연마가 정확히 되지 않았으면 제대로 성능이 발휘되지 않는다. 렌즈의 연마 정도는 파장에 대한 비로 나타낸다.

- 렌즈의 크기 : 대물렌즈가 크면 빛도 많이 모을 수 있을 뿐만 아니라 공간분해능도

제작 : 한국천문연구원, 경북대학교, 경희대학교, 부산대학교, 충남대학교, 충북대학교
허가없이 본 내용의 일부 혹은 전부를 무단 복제할 수 없음

색수차

여름의 그늘진 나무아래에서 찍은 멋진 포즈의 사진은 잘 나오지 않을 때가 많다.

빛을 등지고 찍은 사진 역시 망치기 쉽다. 이런 가장 빈번한 문제의 원인은 색수차이다.

색수차는 빛의 굴절에 따라 색상별 초점이 제대로 맞지 못해서 발생하는 현상이다.

문성욱 (ZDNet Korea)

디지털 카메라에 사용되는 렌즈 역시 빛의 굴절에 의한 파장의 차이로 색수차 현상이 발생한다.

색수차 현상은 밝고 어두운 부분의 극단적인 차이가 많은 장소나 역광 촬영시 자주 일어난다.

특히 광량의 차이가 나는 경계선 부분에 색상이 번지는 것을 볼 수 있다. 이를 색수차 현상이라고 한다.

색수차 현상은 자연광뿐만 아니라 인공조명을 사용할 때도 흔히 볼 수 있다.

카메라 렌즈의 특성상 색수차를 없앨 수는 없다. 하지만 조금이나마 줄일 수 있는 방법은 있다.

비구면 렌즈를 사용하라. 색수차 현상은 렌즈 때문에 생기는 문제이다. 이를 줄이기 위해서는 렌즈의 특성이 중요하다.

디지털 카메라는 한 장이 아닌 여러 장의 렌즈가 사용된다. 여기에 사용되는 렌즈는 오목렌즈와 볼록렌즈가 함께 포함돼 있다.

특히 볼록렌즈는 이러한 색수차 현상을 만들게 하는 주요원인이다. 여러 개의 렌즈를 조합하면 색수차 현상을 주릴 수 있다.

하지만 이 때문에 카메라의 크기는 커지고 조리개의 최소 값은 보다 줄어들 수밖에 없다.

기존 렌즈에 몇 장의 비구면 렌즈를 사용하면 색수차를 줄일 수 있다.

올림푸스나 캐논, 니콘의 디지털 카메라 중에는 비구면 렌즈를 사용한 제품이 있다.

비구면 렌즈는 여러 장이 아닌 몇 장의 렌즈마다 한 장정도만 사용된다. 하지만 몇 장의 렌즈만으로도 색수차 현상을 효과적으로 줄여준다.

이는 카메라의 메커니즘 자체에서 지원해야만 사용할 수 있는 기능이다.

그렇기에 카메라 구입 전에 비구면 렌즈의 사용유무의 확인이 필요하다.

다만 비구면 렌즈를 가격이 비싸기 때문에 이를 채용한 카메라의 가격도 상승한다.

색수차를 없애는 방법

색수차 현상은 대부분의 카메라에서 발생하지만 유독 심한 카메라가 있다.

이는 렌즈의 특성 때문이다. 이런 렌즈를 사용한다면 색수차 현상이 발생하는 것을 막을 수 있는 방법은 없다.

사실상 찍은 사진의 색수차를 보정하는 방법 이외에는 특별한 수가 없는 셈이다.

색수차 현상이 유독 심하게 발생하는 카메라라면 빛의 차이가 적도록 촬영하는 방법이 있다.

ND 필터와 같은 필터를 사용하거나 조리개를 조여서 광량을 조절하는 것도 하나의 방법이다.



디지털카메라의 보급이 날로 늘어가는 가운데 사진에 대한 지식도 널리 전파되고 있는 실정이다. 과거에는 일부 전문가들의 전유물이었던 사진 지식이 이제 중·고등학생들에게도 알려져 있을만큼 보편화가 되어가고 있는데, 사진에 대한 원리를 이해하면 그만큼 더 좋은 사진을 찍는 데 도움이 된다는 것은 디카족이라면 누구나 공감하는 내용일 것이다.

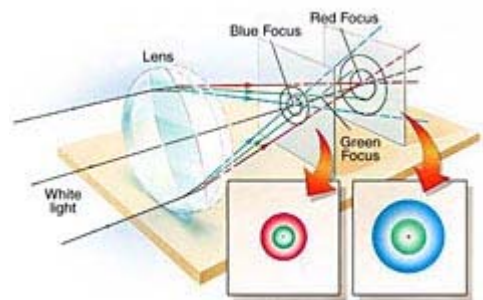
이번 매거진에서는 사진을 촬영하는 과정에서 많은 이들이 들어봤을 색수차와 구면수차라는 것에 대해 알아보도록 하겠다. 렌즈의 광학적 성질에 의해 발생하는 이 두 오차는 절대다수를 차지하고 있는 렌즈 고정식 카메라들의 성능을 직접적으로 좌우하는 것이므로 알아둔다면 좋은 기기를 선택하는 데 안목을 높일 수 있으리라 본다.

색수차(色收差, chromatic aberration)

색수차라는 단어는 일견 어렵게 들릴 수 있겠지만 우리들이 어렸을 때 가지고 놀던 프리즘을 생각해보면 좀 더 쉽게 알 수 있다. 무색의 태양광선이 프리즘을 통과하면 일곱빛깔 무지개색으로 분리되어 보여지게 되는데 여기에 색수차의 비밀이 숨어 있다.

프리즘이 빛을 분리시키는 것은 엄밀히 말하면 빛의 굴절되는 정도가 빛의 파장에 따라 틀리기 때문이다. 예컨대 긴 파장을 갖는 적색계통의 빛은 프리즘을 통과하면서 더 많이 꺾이게 되고, 짧은 파장을 갖는 청색계통의 빛은 적색에 비해 덜 꺾이게 되는 이치이다.

정확한 비유는 아니겠지만 심지가 단단한 사람은 주변의 유혹에 쉽사리 흔들리지 않는 반면 귀가 얇은 사람은 조그마한 유혹에도 쉽게 마음이 바뀌는 것처럼, 빛도 종류에 따라 어떤 물질에 투과되었을 때 그 결과는 서로 차이를 보이는 것으로 생각하면 된다.



색수차가 발생하는 원리



색수차에 의해 경계선에 분광현상이 보인다

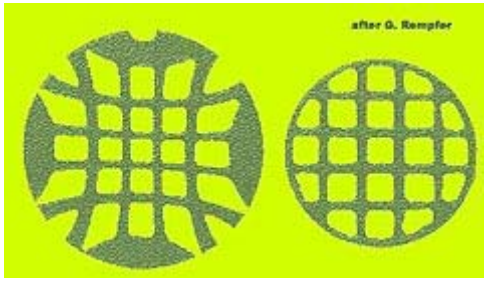


확대하면 더욱
확실히 눈에 띈다

색수차는 유리나 플라스틱 렌즈에서는 피할 수 없는 현상이다(코팅된 거울을 이용하는 반사경에서는 일어나지 않는다). 최대해상도로 찍은 사진을 확대해 보면 사물의 가장자리에 색깔이 무지개 빛으로 퍼져 있는 것을 발견할 수 있는데 이것이 색수차에 의한 결과이다. 이를 보정하기 위해 색지움 렌즈(Achromatic Lens)라는 것을 사용하는데 성분이 다른 유리나 기타 투명한 재료로 만들어진 이 렌즈를 통과하면서 색수차가 상쇄되도록 하는 원리이다. 하지만 완벽한 색수차 보정은 힘들고 제조사가 사양에 표기해야 할 의무사항도 아니므로 가능한 색수차가 적은 카메라를 고르기 위해서는 디지털카메라 리뷰 사이트 등에 샘플로 올라오는 최대해상도의 원본

이미지의 화상 경계선을 유심히 살펴봐야 할 것이다.

구면수차(球面收差, spherical aberration)



좌: 구면수차 발생, 우: 구면수차 교정

구면수차는 색수차보다 더 어렵다. 광학에서는 6 개의 수차현상이 존재하는데 색수차를 제외한 나머지 5 개를 모두 일컬어

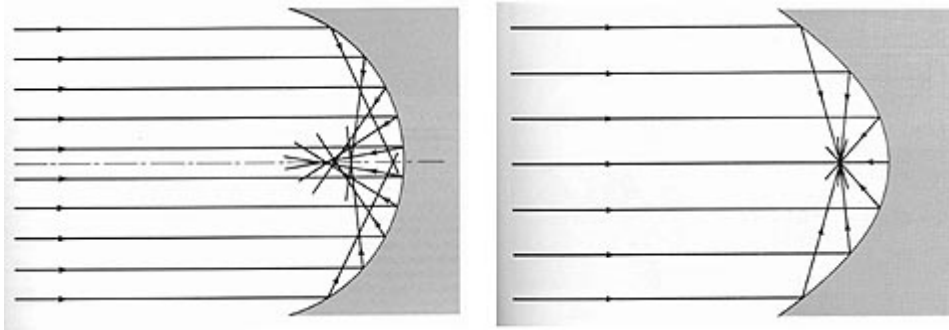
구면수차라고 부르기 때문이다. 이유는 저마다 다르지만 이들을

구면수차라 부르는 이유는 렌즈를 투과하거나 거울에 반사된 빛이 한 점에 모이지 않는다는 공통된 결과를 보여주기 때문이다.

구면수차를 설명하기 위해서는 조금 복잡한 기하광학의 공식이 필요하므로 세세한 설명은 생략하겠지만 가장 중요한 수차현상

하나만 간단하게 설명하자면, 렌즈의 중심부에서 먼 쪽에서 투과한

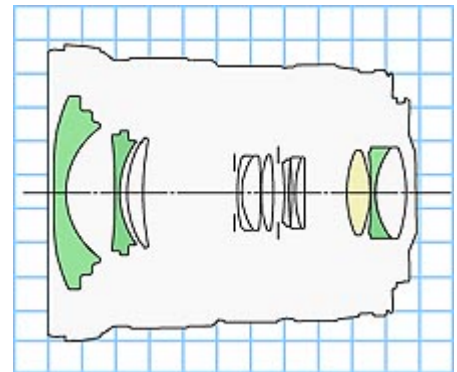
빛은 초점이 맺히는 거리가 짧고 가까운 쪽은 초점이 맺히는 거리가 길어지는 현상 때문에 수차가 발생하는 것이라 보면 된다.



좌: 구면에 의해 초점이 분산, 우: 비구면을 이용 초점 수렴

구면수차의 결과는 가장자리로 갈수록 왜곡이 발생하는 것이 대표적 현상이다. 이는 렌즈의 구면이 도드라지는 광각쪽 계열에서 더 잘 나타나며 전체적으로 보기 흉한 상을 만들어낸다. 따라서 구면수차의 교정은 렌즈 설계상 반드시 필요한 과정이다. (어안 렌즈에서는 아예 의도적으로 이 구면수차를 이용해 극적인 화면을 만들기도 한다.)

이를 위해서 여러 종류의 렌즈를 조합해서 각 경로의 빛을 최대한 한 곳에 모으는 방법을 사용하는데 보통 카메라 렌즈들의 몇군 몇매 식으로 구성된 이유는 이런 수차를 줄이기 위해서이다. 최근에는 구면수차를 줄이기 위해 비구면 렌즈를 사용하는 카메라 렌즈도 여럿 등장했는데, 여기서 한 가지 알아야 할 것은 비구면 렌즈를 마치 평면 렌즈로 오인하면 안된다는 점이다. 비구면은 공의 모양을 하지 않았다는 의미이므로 포물선 곡면이나 기타 다른 수학적 곡면으로 가장자리와 중심과의 경로차를 줄였음을 뜻한다.



캐논의 EF 17~40 USM 렌즈의 단면도. 각종 수차 교정을 위해 다양한 렌즈들이 사용된다

카메라 렌즈를 만드는 업체들은 오래 전부터 색수차와 구면수차를 교정하기 위해 싸워왔다. 다행인 점은 최근의 카메라들은 이런 풍부한 노하우 덕택에 눈에 두드러질만큼 수차들을 보여주고 있지 않다는 점이다. 물론 소형 카메라에 비해 전문가용 카메라들의 수차교정이 월등히 뛰어나지만 대형인화를 하지 않는 이상 그 차이는 눈에 떨 정도는 아니다.

