

(1) 기초광학

① 굴절

: 빛이 밀도가 다른 매질로 들어갈 때 그경계면에서 속도가 변하여 진로가 바뀌는 현상

- 굴절율(n) = $\text{Sin}(\text{입사각}) / \text{Sin}(\text{굴절각})$

- 굴절율은 빛의 파장과 매질의 밀도에 따라 달라진다.

② 분산

: 매질의 경계면에서 파장이 다른 빛들이 각기 다르게 굴절되어 보이는 현상. (프리즘의 색분산 현상)

파장이 길수록 굴절율이 감소한다.

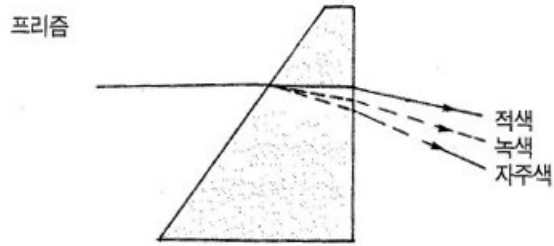


그림 5-2 프리즘에 의한 빛의 분산 현상

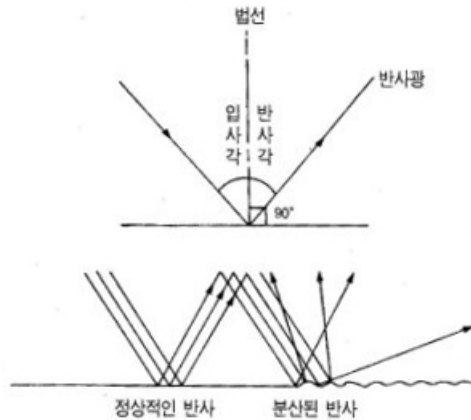


그림 5-3 빛의 반사 현상

③ 반사

- 굴절과 달리 광선이 어떤 매질에 부딪힐때 그경계면에서 빛이 새로운 방향으로 진행하는 현상.

- 반사면이 매끄러운 평면 일 경우 입사각과 동일 각으로 반사.

- 반사면이 고르지 못할 경우에는 난반사를 한다.

(Lens의 반사율을 작게하려면 Lens표면을 Coating하여 광투과율을 높인다.)

④ 회절

- 빛이 파장보다 짧은 통로를 지날 때 직진하는 광선이외에 회절에 의해 경계면에서 빛의 방향이 꺾이는 현상

(2) Lens의 구조 및 광학특성

① 광선은 유리 Lens 내에서 굴절한다.

: 굴절 현상은 유리매질의 밀도가 높을수록 광선이 늦게통과하는 특성에 기인한 것으로 유리의 두께를 달리 함으로써 광의 굴절정도를 조절할수 있다.

Lens는 이런 특성을 가진 여러개의 렌즈들이 경통안에서 결합된 형태로 내부반경? 제거하기위해 특수코팅되어 피사체에서 반사되어 나오는 광을 모아 촬상면에 상을 맺어 주게 한다.

② Lens 장착방법

- C 마운트 방식 : Lens몽치와 CAMERA의 연결 부위가 Screw 방식으로 돌려서 연결하는 방식, CCTV CAM에서 주로사용.

- Bayonet 마운트 방식 : 방송용에 주로 사용하며 신속한 장착이 가능하다. (ENG, EFP) 틀에맞추어 연결하여 고정시키는 방식.

- Breech 마운트 방식 : Studio용 Camera Lens처럼 중량이 클 경우 특수한 고정용 레버를 이용하여 장착하는 방식.

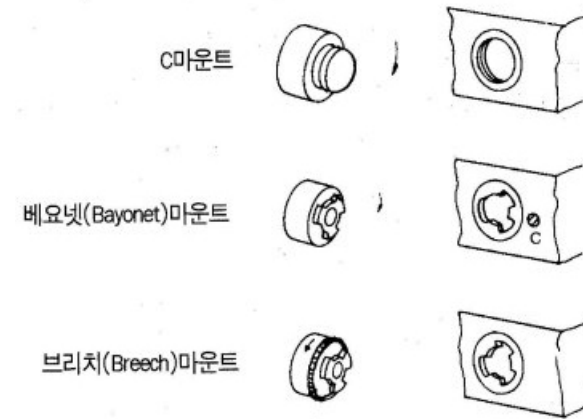


그림 5-5. 렌즈 마운트이 종류

③ 조리개

: 사람의 눈의 조리개 처럼 여러장의 얇은 금속막을 다각형을 이루도록 중첩시켜 광량을 조절하는 역할을 한다.

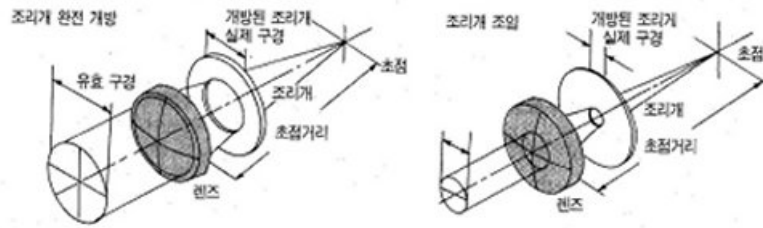


그림 5-6. 렌즈의 유효 구경과 조리개

④ F#

: Lens의 밝기를 나타내는 양으로 초점거리와 입사광의 직경의 비로 표현 된다.

$$F\# = f / D$$

f : Lens의 초점거리

D : 렌즈의 유효구경(입사동)

- F#가 작을수록 유효구경이 커서 많은 광량이 통과하고 F#가 클수록 D가 작아지므로 광량이 줄어들게 된다.

- 일반적으로 F# 값은 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22로 표기.

위에서 F1.4가 가장 밝은 값이며 한단계씩 숫자가 커질수록 광량의 통과는 1/2로 줄어들게 된다.

⑤ Back Focus / Flange Back

- 굴절과 달리 광선이 어떤 매질에 부딪힐때 그경계면에서 빛이 새로운 방향으로 진행하는 현상.

- 반사면이 매끄러운 평면 일 경우 입사각과 동일 각으로 반사.

- 반사면이 고르지 못할 경우에는 난반사를 한다.· Back Focus - 무한대에 초점을 맞추었을경우 렌즈 뒷면 최종단 에서 결상면까지의 거리.

- 렌즈를 탈·장착 함에 따라 발생하는 오차를 ±0.5 mm 정도 조정하는 작업을 Back Focus 보정이라 한다.

· Flange Back - 렌즈 마운트의 최종단면에서 결상면까지의 거리.

· Back Focus 보정은 Lens 조리개를 Full 개방한 상태로 조명을 낮게하여 조정하며 그때 CAMERA의 DTL은 OFF상태에서행한다.

- i) Zoom in 상태에서 Focus lens를 움직여 초점을 맞춘다.

- ii) Zoom out 하여 Back Focus용 lens를 움직여 초점을 맞춘다.

- iii) 상기 i), ii) 방법을 2~3회 반복하여 조정한다.

- * Zoom in 상태에서는 피시게 심도가 얇고, Zoom ont 상태에서는 초점 심도가 얇다.

(Lens의 반사율을 작게하려면 Lens표면을 Coating하여 광투과율을 높인다.)

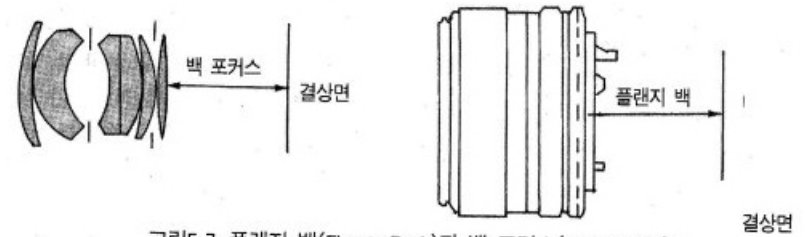


그림5-7. 플랜지 백(Flange Back)과 백 포커스(Back Focus)

⑥ 초점거리

: 무한대의 한점에서 출발한 광선이 Lens를 통과한 다음 맺어지는 상과 Lens중심(주점)까지의 거리

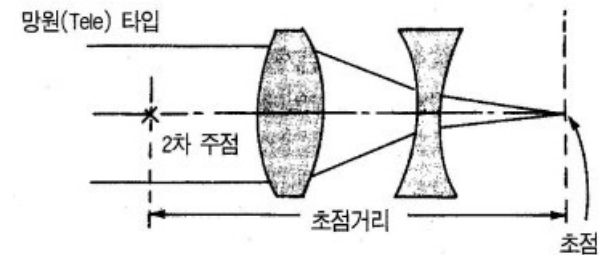
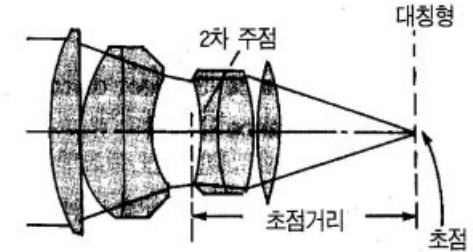


그림5-13. 대칭형 렌즈의 초점 거리

⑦ 주점 (Principal Point)

: Lens의 광학적 중심을 말함.

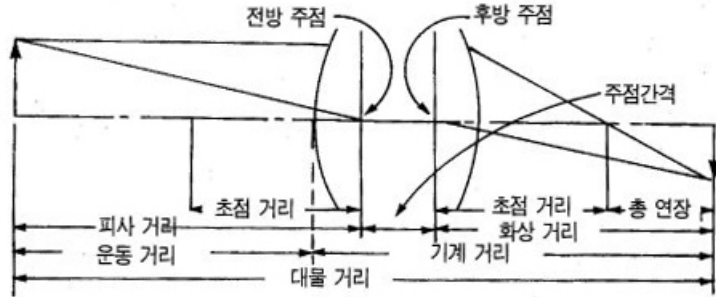
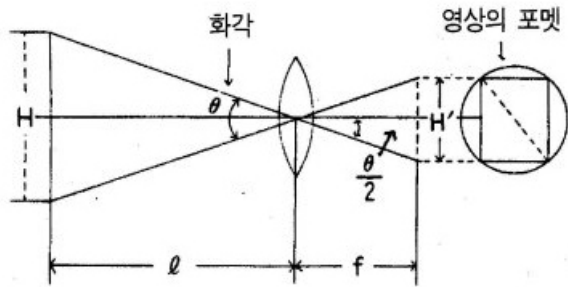


그림 5-8. 대물 거리, 피사 거리, 화상 거리의 상호관계
초점거리



θ : 화각
 H' : 영상의 크기
 f : 초점거리

⑧ 화각

- Zoom in 상태로 갈수록 화각은 작아지고,
- Zoom out 상태로 갈수록 화각은 커진다. $\theta = 2 \cdot \tan^{-1} (H'/2 \cdot f)$

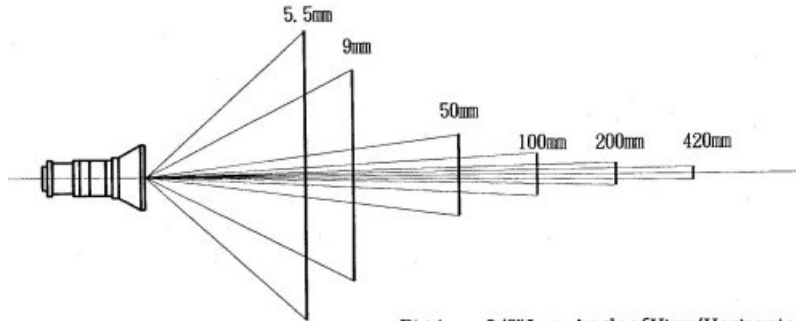


Fig 4 2/3" Lens Angle of View (Horizontal)

⑨ 피사계 심도, 초점 심도

- F#가 클수록 심도가 깊어진다.
- 초점거리가 짧을수록 피사계 심도는 깊어진다.
- 피사체 거리가 멀수록 심도는 깊어진다.
- 전방의 심도 보다 후방의 심도가 깊다. · 후방 피사계 심도(d_1) = $(\delta \cdot F\# \cdot L^2 / f^2 - \delta \cdot F\# \cdot L)$
- 전방 피사계 심도(d_2) = $(\delta \cdot F\# \cdot L^2 / f^2 + \delta \cdot F\# \cdot L)$

· Image Size와 허용착각원 :

Image Size $1\frac{1}{4}" 1" \frac{2}{3}" \frac{1}{2}"$

허용착각원 0.04 mm 0.03 mm 0.021 mm 0.016 mm

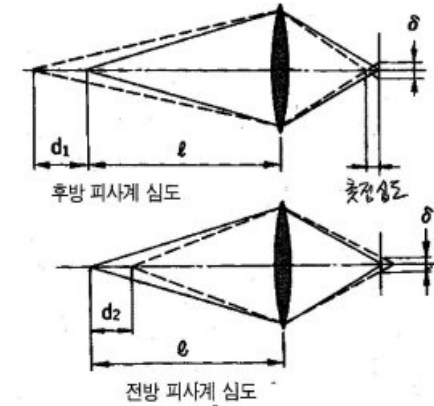


그림 5-17. 전방, 후방 피사계 심도

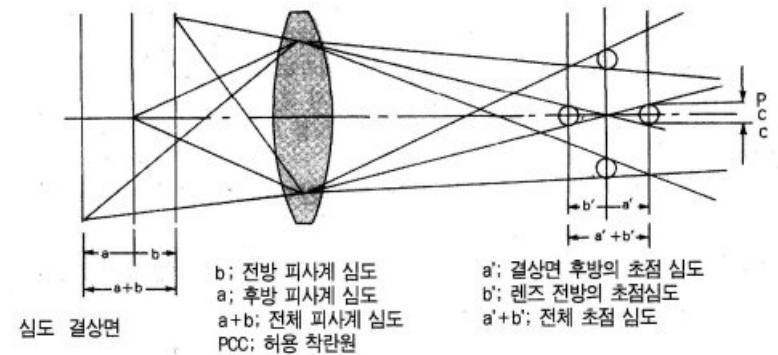


그림 5-15. 피사계 심도와 초점 심도의 관계

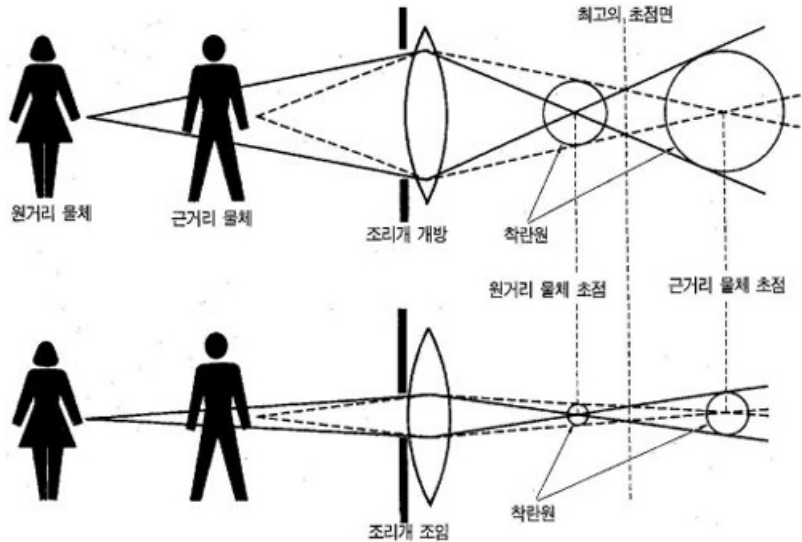


그림 5-16. 조리개의 개폐에 따른 피사계 심도 변화

⑩ 입사동, 출사동

- 입사동 : Lens 앞쪽에서 본 조리개의 허상으로 Lens에 투과되는 광량을 결정 한다.
- 출사동 : Lens 뒤쪽에서 본 조리개의 허상으로 Lens의 수차에 관계 된다.

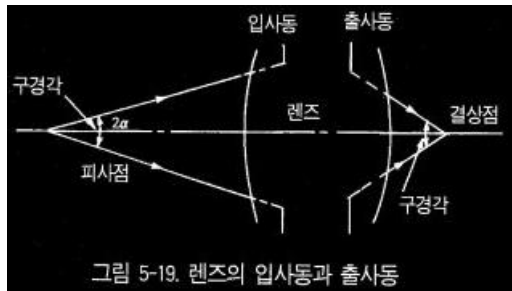


그림 5-19. 렌즈의 입사동과 출사동

⑪ 램핑(Ramping, F-Drop)

- 줌 렌즈의 조리개를 활짝 연상태로, Zoom out 에서 Zoom in 으로 할 경우 Video Level이 점점 낮아 지는 현상을 말하며, 줌렌즈의 초점거리가 변할수록 입사동 구경도 변하게 된다.
- 이는 장초점 거리의 렌즈로 조명이 낮은곳에서 사용할 경우 문제가 되며, 실내에서는 조명을 충분히 주면 문제가 않된다.

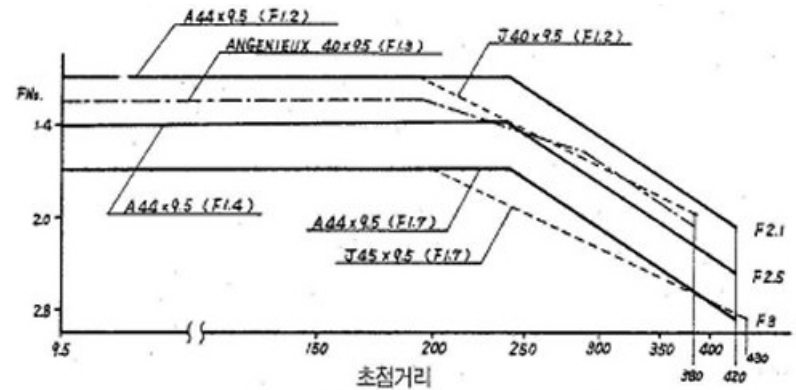


그림 5-39. 줌렌즈에서의 램핑(Ramping)

⑫ 렌즈의 해상력과 MTF (Modulation Transfer Function)

- 렌즈의 결상 능력은 보통 그의 해상력으로 표시 한다.
- 해상력 이란 1 mm 의 간격 내에 미세한 선들을 몇 개까지 재현해 낼수 있는가로 표시하며 그 단위로는 [Line pair / mm]로 나타낸다.
(이는 TV의 해상도 단위 [TV Line , TV 本] 과는 구별 된다.)
- 같은 해상도를 내기 위해서는 촬상 소자의 Size가 작을수록 렌즈의 해상력은 높아야 한다.
- 아래 그림을 보면 전기적인 주파수와 공간 주파수와의 관계를 비교해서 나타내고 있다.
- 전기적인 특성에서 Amp.의 주파수 특성에 의해 고주파수가 제한 되는 것처럼 공간 주파수 에서도 렌즈의 MTF 에 의해 고주파 성분이 제한 된다.

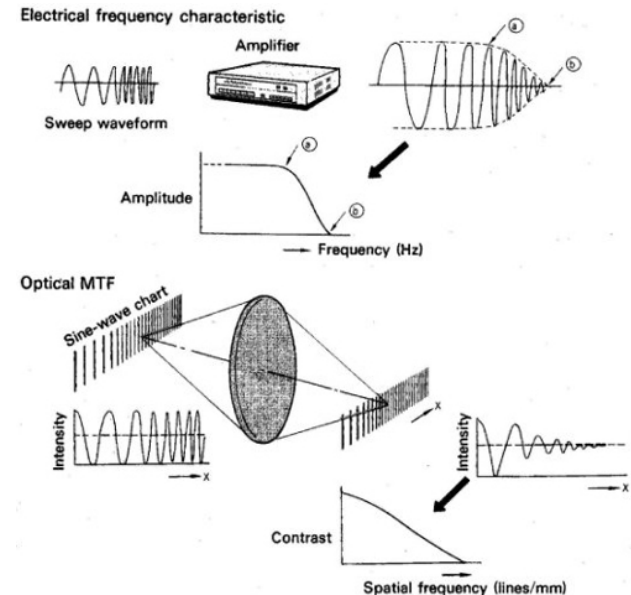


그림 5-9 전기적인 주파수 특성과 광학적인 변조 전달함수(MTF)

- NTSC 방식에서는 전송대역이 Video 신호가 4MHz로 제한되므로 그에 해당하는 렌즈 해상력을 보면 다음과 같다.

Image Size

4MHz에 해당하는 공간 주파수 (렌즈 해상력)

1 1/4"	12.3 Lines/mm
1"	16.5 Lines/mm
2/3"	24.0 Lines/mm
1/2"	33.0 Lines/mm

2. 렌즈 수차(Aberration)

: 렌즈가 곡면이고 재질이 유리이며 광의 파장이 각기 다르므로 해서 광선이 초점면에 정확히 집속되지 않는 현상을 수차라 하며, 이 수차의 발생 정도에 따라 렌즈의 품질이 평가된다.

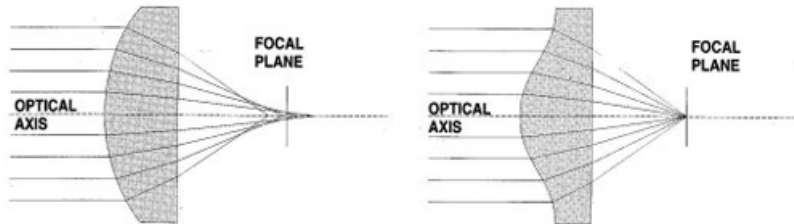
(1) 자이텔 수차

: 렌즈 형상이 구면으로써 이상적인 초점을 형성하지 못하여 발생 하는 수차.

이 수차는 광의 파장에 무관하게 발생하듯 단색광에서도 발생 한다.

① 구면 수차

- 광축에서 멀리 떨어진 외곽부를 통과하는 광선의 굴절율이 크므로 렌즈 가까운 쪽에 초점을 형성하므로 근축광선과 한점에 초점 형성이 안되는 현상.
- 현상은 밝은빛 주변에 Halo로 나타난다.
- 이를 줄이기 위해서는 조리개를 줄여주면 많이 개선이 되며, 렌즈 설계시에는 비구면 렌즈를 사용하던가 오목렌즈와 함께 사용하여 수차보정을 한다.



② 코마 수차

- 구면수차는 광축에 평행한 광선에서 생기는 현상이지만, 코마수차는 광축에 대해 임의 각도로 비스듬히 입사하는 광선에 의해 나타나는 현상.
- 렌즈 주변부로 입사하는 광선은 초점면에 결상되지만, 중심부 입사광선과는 굴절각이 다르기 때문에 화상은 해성 꼬리처럼 흐려짐 발생.
- 조리개를 조이면 줄어들며, 렌즈 설계시 좌우 대칭형의 렌즈 사용을 가능한 줄임으로서 다소 감소시킬 수 있다.

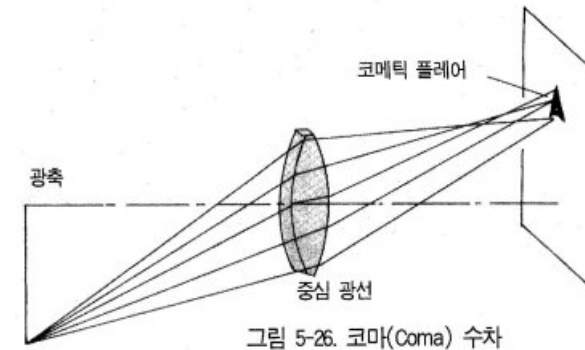


그림 5-26. 코마(Coma) 수차

③ 비점수차

- 그림과 같이 광축을 벗어난 임의의 물점에서 나온 광선은 렌즈 통과후 화면 모서리의 한 점에 집속되지 못하고 두 개의 선으로 분열되어 비점형곡선, 혹은 타원형으로 흐려진다.
- 조리개를 조임으로서 다소 줄일수는 있지만 완전히 없앨 수는 없다.
- 그림의 차트로 비점수차를 측정하는데 사용된다.

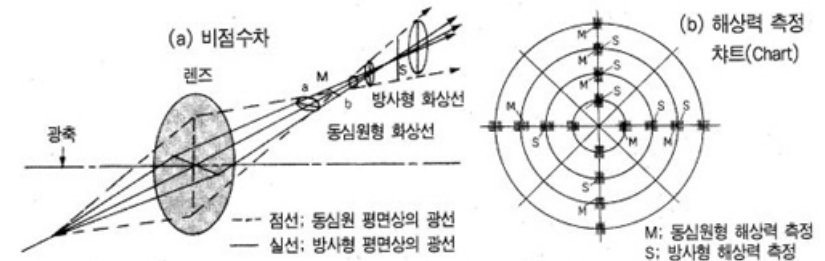


그림 5-27. 비점 수차와 해상력 측정 차트(Chart)

④ 상면만곡

- 평면의 피사체가 평면으로 결상되지 않고 곡면의 형태로 결상되는 현상.

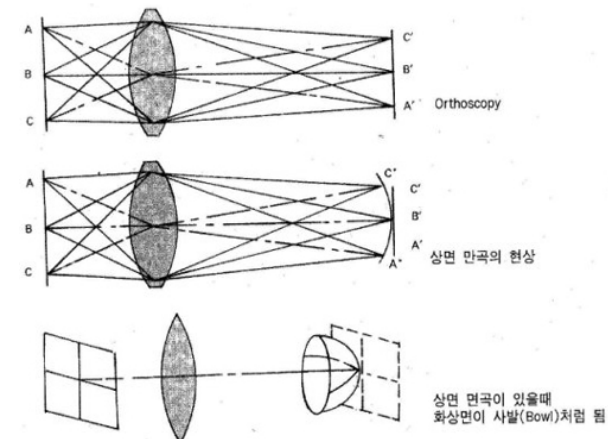


그림 5-28. 상면 만곡(Curvature of Field)

- 상평면을 화면 중심에 맞추면 주변이 흐려지고, 상평면을 주변에 맞추면 중심이 흐려지는 현상.
- 비점수차를 보정하면 상면만곡도 함께 개선이 되며, 조리개를 조여주면 약간 감소 시킬수 있다.

⑤ 왜곡(Distortion)

- 앞의 수차는 초점의 정확도와 관련된 현상인데 반해 왜곡현상은 전적으로 화상의 형태와 관련된 현상이다.
- 왜곡현상은 평면으로 결상되지만 기하학적으로 똑같이 결상되지 못한다.
- 이현상은 렌즈의 중심을 통과하는 주광선이 비정상적으로 굴절될 때 일어난다.
- 굴절현상은 조리개와 무관하여, 조여주어도 개선 할수 없으며 설계시 비구면 렌즈로 개선가능.
- 줌렌즈의 경우 Zoom in때는 실패형(Pin cushion) 왜곡이 생기며 Zoom out 때는 술통형(Barrel) 왜곡이 생기는 경향이 있다.

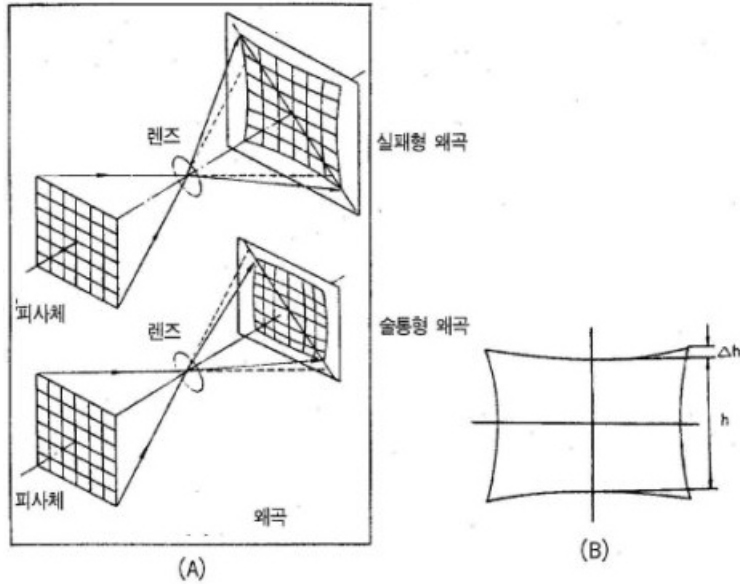


그림 5-29. 왜곡(Distortion) 현상

- 화면왜곡 = $(\Delta H/h) \times 100$ [%]

(2) 색수차

: 색수차는 태양광처럼 여러 가지 색광을 포함하고 있는광에 대해 발생한다.
이 색수차는 각파장에 대한 굴절율과 배율이 달라서 광이 한점에 집중되지 못해 나타난다.

① 축상 색수차

- 파장에 따라 광축상의 결상점이 각기 다르게 나타나 파장이 짧을수록 렌즈 가까이 초점을 맺어 렌즈를 줌인 할 경우 색광들의 초점이 달라져 색이 퍼지는 현상.
- 원인은 초점 그룹의 잔존 수차와 광학 유리의 한계특성 때문이며
- 조리개를 줄임으로 약간의 개선이되며 설계시 서로 다른 유리재질을 합성하여 사용하여 보정해 준다.

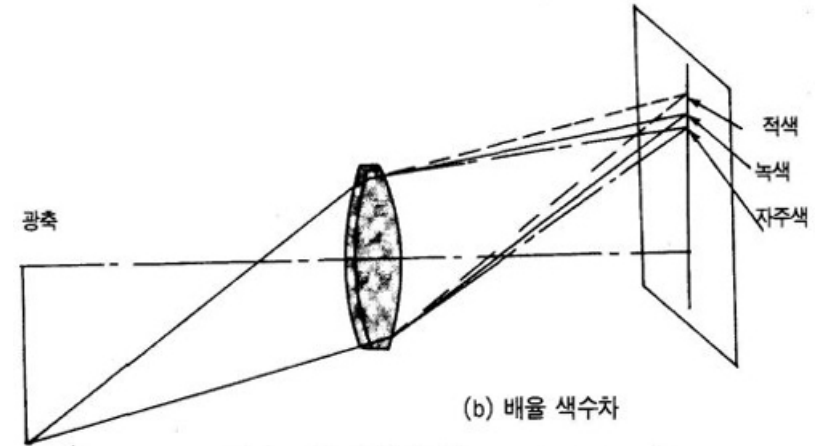
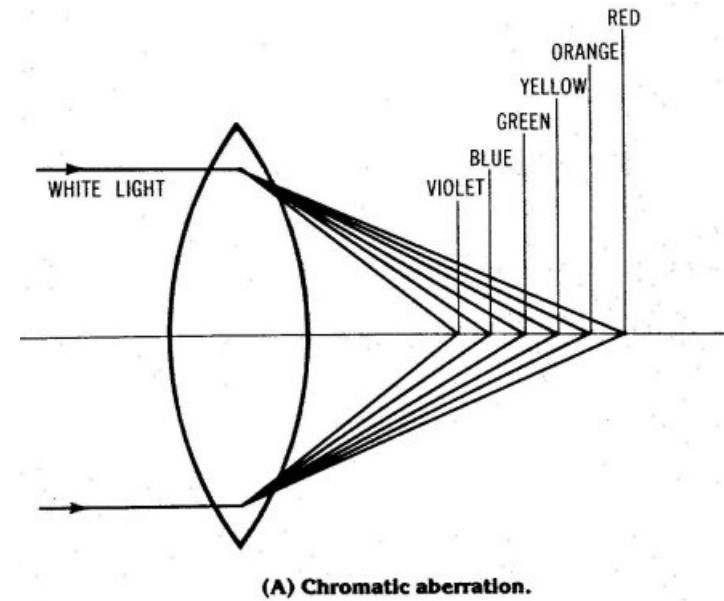


그림 5-30. 색 수차(色收差, Chromatic Aberration)

② 배율 색수차

- 그림과 같이 볼록,오목렌즈를 조합하여 사용하면 축상색수차는 제거 되지만 광선의 통로는 서로 다르게되어 초점거리가 색광별로 서로 다른 상태가 되어 상의 배율이 파장에 따라 달리 나타나는 현상.

- 이를 보정하기 위해서는 여러 가지 다른 종류의 재질유리와 다른 타입의 오목, 볼록렌즈를 복합적으로 사용하여 개선한다.

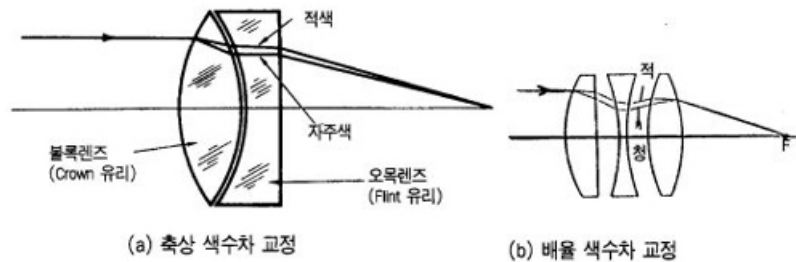


그림 5-31. 색 수차 교정렌즈

3. 그외 장애 현상

① Flare

- 렌즈 광축에 비스듬히 입사하는 광선들이 렌즈의 경통 안쪽 벽면에서 불규칙하게 반사되어 화상이 부분적으로 밝게 얼룩이 생기는 현상.
- 렌즈 면을 코팅하고 경통의 내부벽면을 특수 무광 처리하여 경통 내부 반사를 줄이며 렌즈 앞에 후드를 설치하여 불필요한 광이 유입되지 않도록 한다.

② Ghost

- 일광이나 전등에 의한 강한 직사광선이 유입되면 렌즈 통 내부벽면의 일부와 렌즈면의 반사로 인해 흐릿한 형상이나 조리개형태의 유령화상이 나타난다.
- 렌즈면을 반사율이 낮게 코팅처리하여 감소 시킬수 있다.

③ Vignetting

- 렌즈후드나 필터의 크기가 부적당 하여 사용렌즈의 화각에 걸리거나 렌즈통 내부에서 광선의 진행방향이 걸리게 되어 화상이 모서리 부분이 잘리거나 어두워 지는 현상. 특히 Zoom out (광각) 상태로 갈수록 심해진다.
- 조명을 높여주고 조리개를 조여주면 이현상을 감소 시킬수 있다.

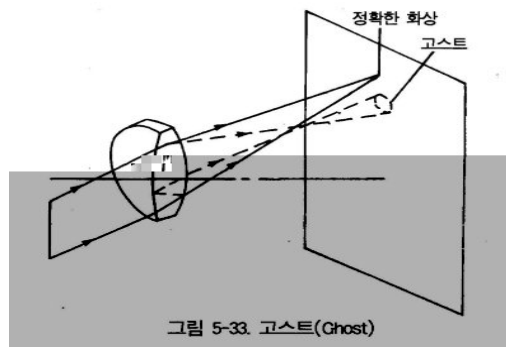


그림 5-33. 고스트(Ghost)

렌즈의 조리개(F) 값 = 초점거리 ÷ 렌즈의 직경(유효구경)

표준렌즈 50mm의 최대 개방시의 조리개 값이 1.4일 경우 렌즈의 직경(빛이 통과할 수있는 유효직경)은 $50 \div 1.4 \approx 35 \text{ mm}$ 임을 알 수 있다.

통상 조리개 값의 배열은 1.4 - 2 - 2.8 - 4 - 5.6 - 8 - 11 - 16 - 22 - 32로 배열되어 있는데 여기서 각 단계별로 값이 $\sqrt{2}(1.4)$ 배 만큼 증가하는 것을 볼 수 있다.

이는 빛이 통과하는 조리개(원형)의 면적과 관련이 있는 것으로 빛의 통과량이 2배로 증가하기 위해서는 조리개가 열려있는 구멍의 크기(면적)가 2배로 증가해야 하거나 같은 구멍(조리개)로 빛이 들어가는 시간을 2배로 하여야 한다.

여기서 원의 넓이를 구하는 공식은

$$\text{원의 넓이} = \pi r^2$$

따라서 r의 값이 $\sqrt{2}(1.4)$ 만큼 증가할 때 마다 원의 면적은 2배로 증가하고 이로 인해 조리개를 통해 들어가는 빛의 양도 2배 증가하게 된다.

보통 렌즈의 전면부를 보면 1:2.8과 같은 수치가 나타나 있다. 이 수치의 표시는 특정 렌즈뿐 아니라 모든 렌즈에서 적용되는 표시이다. 렌즈에 조리개가 있는데 그 수치가 작을수록 밝다. 사진에서는 조리개가 밝기 외에 초점의 심도와 연관이 있기 때문에 매우 중요한 요소가 된다.

요즘의 렌즈들은 여러장의 렌즈를 겹쳐서 설계하고 있기 때문에 실제 렌즈의 직경이 꼭 위의 식에서 구해지지는 않지만 기본적으로는 구경이 큰 렌즈의 F값이 더 적고 많은빛을 받아들일 수 있다.

이제는 위의 수치가 밝기의 기준이 되었기 때문에(노출의 기준) 렌즈의 크기와 렌즈의 초점거리 비율보다 밝기가 더 중요하다.

조리개 2.8이라면 초점거리/직경이야 어쨌든 우선 2.8이라는 기준 밝기에 맞추어 설계한다.

밝기 기준이 틀리면 노출 시스템이 불안해진다.

렌즈는 대부분 여러개의 광학 렌즈로 구성된다.

예를 들어 10군 13매 이것은 15매의 볼록, 혹은 오목 렌즈들로 이루어져 있다는 말이다.

처음 빛이 렌즈의 선단을 통과하여 각각의 렌즈들을 투과하여 필름 면에 닿을 때까지 빛의 감소가 생기게 된다. 또한 렌즈의 길이도 빛의 감소 요인이 된다. 모든 렌즈는 각각의 구조와 특성에 의해 개방 조리개값이 달라지게 된다. 렌즈의 조리개라 함은 빛의 투과성을 기준으로 한다.

이 말은 100개의 빛 입자가 렌즈를 모두 통과해서 필름 면에 닿으면 조리개 값이 f 1.0 이 된다. 만약 100개가 통과하여 그 중 50개만 필름 면에 닿는다면 조리개 값은 f 1.4 가 되고 25개 가 되면 f 2 가 되는 식이다.

렌즈의 밝기란 그 렌즈의 조리개를 최대로 개방했을 때의 조리개 값이다.

따라서 보편적으로는 f값이 적을수록 렌즈의 가격이 비싼 편이다.

통상 줌렌즈의 경우 렌즈의 밝기 표시가 1 : 3.3~4.5와 같이 변하는 값으로 표시되어 있는 것을 볼 수 있는데 이는 줌렌즈의 각 초점거리별로 최대 조리개 값이 다르다는 이야기이다.

예를 들어 니콘렌즈 70-210mm의 경우 최대 조리개 값이 4 ~5.6으로 되어 있다. 이는 본 렌즈를 70mm에서 사용할 경우에는 조리개 값을 최대 4까지 열 수 있지만 망원 쪽인 210mm로 사용할 경우에는 조리개를 최대한 개방하더라도 5.6이하의 수치로는 개방할 수 가 없다는 뜻이다.

그 이유는 $\text{초점거리} \div \text{렌즈의 유효구경} = \text{최대개방시의 조리개 값}$

여기서 초점거리는 70mm ~ 210mm까지 변하는 동안 렌즈의 유효구경 도 같은 비율로 변해야 하는데 그렇게 설계되어 있지 못하기 때문에 최대 개방시의 f값이 변하게 되는 것이다.

니콘 80~200mm의 경우 f값이 2.8로 고정되어 있는데 이런 렌즈의 경우는 설계 시에 이러한 부분들을 반영하기 때문에 고가의 렌즈이다. 물론 렌즈자체의 해상도가 높은 면도 있다.