

1. 천체망원경(astronomical telescope)

1-1. 천체망원경이란?

망원경은 렌즈 또는 거울을 이용하여 가시광선·적외선·자외선·엑스선 등의 전자기파를 모아 멀리 있는 물체를 관측하는 장치이다. 전자기파의 파장에 따라서 광학망원경, 전파망원경 등으로 분류되는데, 일반적으로 망원경이라고 하면 가시광선을 보는 광학망원경을 일컫는 경우가 많다. 망원경은 주로 천문학에서 많이 사용되며, 이 외에도 군용 및 레저용으로 많이 사용되고 있다.

※ 가시광선(visible light):

- 눈으로 보이는 파장 범위를 가진 빛으로 대략 380~780nm(nanometer) 범위의 파장을 가진 전자파이다.
- 파장에 사용되는 단위 : nm(nanometer)와 Å(angstrom)

$$1\text{nm} = 10^{-9}\text{m} = 10\text{Å}$$

1-2. 망원경의 역할

렌즈나 거울과 같은 광학 도구를 이용하여 한 점에서 출발한 빛을 다른 한 점으로 초점이 맺게 할 수 있다. 즉 피사체와 동일한 모양의 상을 다른 위치에 만들 수 있다. 이때 렌즈나 곡면 거울의 두께와 곡률 등을 조절하여 피사체보다 더 큰 상을 만들게 되면 우리는 실물보다 더 크게 물체를 볼 수 있는 것이다.

그러나 망원경의 가장 중요한 요소는 '집광능'과 '분해능'이다. 사람의 동공보다 훨씬 더 넓은 면적의 렌즈나 곡면 거울을 이용하여 빛을 모으기 때문에 육안으로 볼 수 있는 것보다도 더 어두운 피사체를 볼 수 있게 해준다. 이것이 집광능이다. 또한 망원경의 광학계-렌즈 또는 거울-의 면적이 클수록 분해능이 높아지므로, 피사체를 더욱 세밀하고 뚜렷하게 볼 수 있게 해준다. 이 두 요소 덕분에 망원경은 '너무나 멀리 떨어져서 희미하게 보이는 별빛(또는 우주에서 온 빛)을 우리가 관측할 수 있을 정도로 밝게 빛을 모아주는 동시에, 관측 대상의 상을 더욱 세밀하고 정확하게 맺어 주기 때문에 천체를 관측하는 데 가장 적합한 도구이다.

※ 집광능:

- 집광능은 광학기기 등의 성능을 평가할 때 사용되는 단어이다. 집광능이 좋은 광학기기일수록 어두운 피사체를 잘 볼 수 있게 해준다.
- 구경의 제곱에 비례한다.

구경과 집광력

구경(mm)	50	60	80	100	150	200	250
집광력(배)	51	73	130	204	460	820	1280

※ 분해능

- 분해능은 서로 떨어져 있는 두 물체를 서로 구별할 수 있는 능력을 의미한다.
- 분해능이 높으면, 아주 가까워 보이는 두 물체도 서로 다른 물체로 볼 수 있고, 분해능이 낮다면, 서로 떨어져 있는 두 개의 물체임에도 불구하고, 하나의 물체로 인식할 수 있다.
- 분해능(d)은 다음과 같은 수식으로 결정된다.

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \theta}$$

n은 굴절률(refractive index)이고, θ는 렌즈로 들어가는 빛의 각도의 이다. 또한 λ는 빛의 파장이다. d는 두 물체를 분간할 수 있는 최소의 거리이므로, 이 값이 작을수록 분해능이 높은 것이다.

구경과 분해능

구경(mm)	50	60	80	100	150	200	250
분해능(초)	2.32	1.93	1.45	1.16	0.77	0.56	0.46

구경이 클수록 집광력도 좋아지고 분해능도 좋아진다.

1-3. 천체망원경의 종류

망원경은 집광하는 전자기파의 파장에 따라서 광학 망원경, 전파 망원경, 자외선 망원경, 적외선 망원경, X선 망원경 등으로 나눌 수 있다. 또한, 망원경은 대물렌즈의 종류에 따라 볼록렌즈를 사용하는 굴절 망원경과 오목거울을 사용하는 반사망원경으로 나눌 수 있다. 시판되는 망원경은 주로 굴절식의 케플러와 반사식의 뉴턴 그리고 반사굴절식의 슈미트 카세그레인 망원경으로 3분화된다.

- ※ 전파망원경: 천체에서 오는 전파를 모아 관측하는 망원경으로 파장이 매우 긴 전파를 모으므로 구경이 매우 커야 한다.
 - ※ 우주망원경: 지구의 대기를 벗어나 우주에 설치된 망원경으로 가시광선과 지상에서 관측할 수 없는 감마선, 자외선, 적외선 등을 관측한다. 우주망원경의 예는 허블 망원경을 들 수 있다.
 - ※ 허블우주망원경 [Hubble space telescope]: 허블망원경(HST)은 대기권 밖에서 우주관측을 정밀히 행하기 위하여 설계된 반사망원경으로, 미국 항공우주국(NASA)과 유럽우주국(ESA)이 주축이 되어 개발하였다. 해상도는 10~30배, 감도는 50~100배로, 지구상에 설치된 망원경보다 50배 이상 미세한 부분까지 관찰할 수 있다.
- 광학 망원경은 어떠한 도구를 이용하여 빛을 모으냐에 따라 굴절 망원경, 반사 망원경, 반사-굴절 망원경으로 나눌 수 있다.

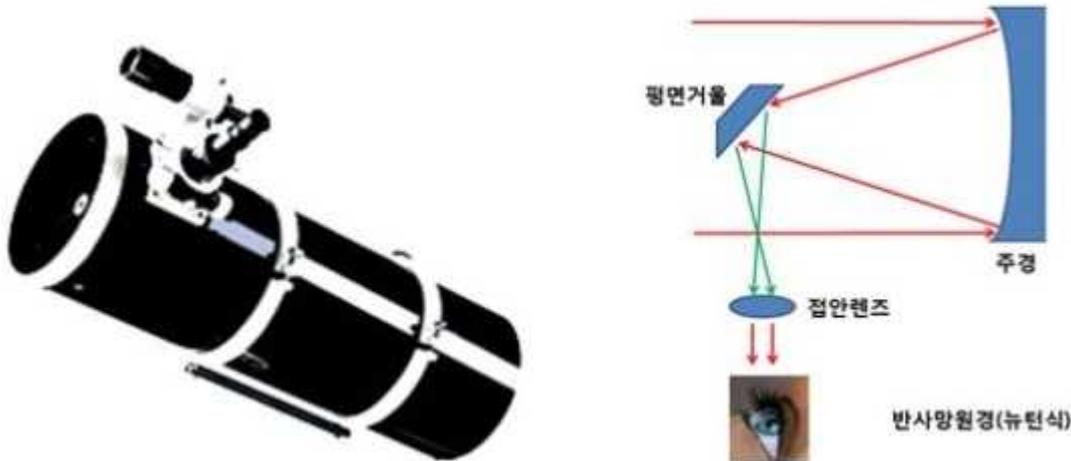
(1) **굴절망원경**은 망원경으로 들어오는 빛이 렌즈에 굴절됨으로써 상이 맺히는 방식으로 갈릴레이식과 케플러식 망원경이 있다. 갈릴레이식 망원경은 볼록렌즈(대물렌즈)와 오목렌즈(접안렌즈)로 구성되어 있으며, 상은 정립으로 보이지만 시야가 좁다. 케플러식은 볼록렌즈(대물렌즈)와 볼록렌즈(접안렌즈)로 이루어져 있는데 시야는 넓지만 상이 상하좌우가 반대로 된 도립상이다. 굴절망원경은

경통이 막혀 있어 상이 안정적이고 명암이 뚜렷해 태양이나 달, 행성 관측에 적합하다. 빛이 렌즈를 통과하면서 굴절될 때 색수차가 발생하는 단점이 있으며, 큰 구경의 렌즈 제작이 쉽지 않은 단점이 있다.



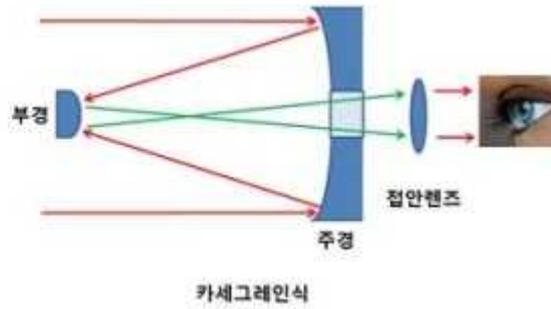
굴절망원경으로 보이는 상			
천정미러를 사용하지 않은 경우		천정미러를 사용한 경우	
	좌우대칭 및 상하대칭		상하대칭

(2) 반사망원경은 렌즈 대신 반사경을 이용하여 상을 맺게 하는 방식이다. 개방된 경통 구조를 가지므로 상대적으로 굴절 망원경에 비하여 덜 안정된 상을 만들어내지만, 색수차가 발생하지 않는 장점이 있다. 여기에는 뉴턴식과 카세그레인식이 있다. 뉴턴식 반사망원경은 주경으로 오목거울을, 부경으로 평면 사경을 사용한다. 뉴턴식은 굴절식에 비해 대구경 망원경 제작이 용이하며 가격이 저렴하다. 뉴턴식은 빛이 들어오는 방향과 직각의 위치에서 상을 보기 때문에 천정 부근을 볼 때 편리하다. 카세그레인식 반사망원경은 주경으로 오목거울을, 부경으로 볼록거울을 사용한다. 초점거리에 비해 경통 길이를 짧게 할 수 있다. 반사망원경은 상이 밝고 색수차가 없어 성운, 성단, 은하 등의 관측에 적합하고 대형망원경에 적합하다. 그러나 상의 명암이 뚜렷하지 못하고, 상이 불안정한 단점이 있다.



반사망원경으로 보이는 상	
	좌우대칭 및 상하대칭

(3) **반사굴절식 망원경**은 반사 망원경과 굴절 망원경의 장점을 살려서 만든 방식의 망원경이다. 반사경을 주경으로 사용하고 경통 앞쪽에 수차를 수정하는 보정렌즈를 설치하여 반사경과 굴절렌즈 모두 사용하는 망원경이다. 여기에는 슈미트 카세그레인, 막스토프 카세그레인 등이 있다.



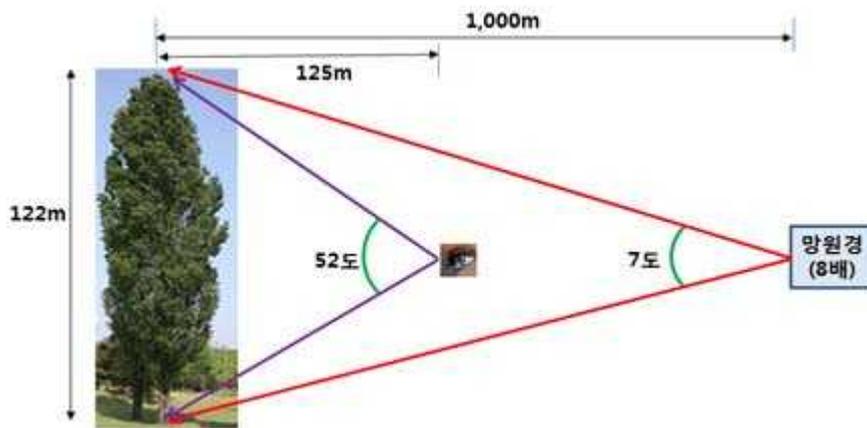
1-4. 접안렌즈(eyepiece)란

기본적으로 확대경의 역할을 하고 있는 광학 장치를 말한다. 망원경의 렌즈(또는 반사경)에 의해 빛이 모여 초점면에 실상을 만들면 접안렌즈는 이 실상을 확대해서 보여 주는 것이다.

(1) 접안렌즈의 시야

망원경에서 시야라는 말을 할 때는 두 가지 경우가 있다. 즉, 실제로 우리가 보고 있는 범위, 전체 하늘 중에서 우리가 보고 있는 부분이 얼마나 되는가를 나타내는 실시야, 그리고 우리가 접안렌즈를 통해서 볼 때 얼마나 넓은 각도로 상을 볼 수 있는가 하는 정도를 나타내는 겉보기 시야이다. 실시야는 망원경의 배율에 의해 결정되며, 겉보기 시야는 접안렌즈의 성능에 달려있다.

- ※ 실시야: 망원경으로 1,000 미터의 거리에 있는 사물을 보았을 때 망원경을 움직이지 않고 몇 미터까지 한번에 볼 수 있는가를 말한다. 아래 그림에서 실시야는 122m입니다.
- ※ 실시야각: 실제 망원경으로 보여지는 시야의 각도를 의미 합니다. 아래 그림에서 약 7도입니다.
- ※ 실시야와 실시야각의 관계: 미터단위 실시야 / 17.45 = 실시야각 (= > 122/17.45 = 7)
- ※ 겉보기시야각: 망원경을 통하여 사물을 보았을 때 사물에 관찰자가 가까이 다가선 것처럼 느껴집니다. 이때 다가선 지점에서 시야각을 다시 측정한 것이 겉보기시야각입니다. 아래 그림에서 52도.
- ※ 실시야각과 겉보기 시야각의 관계: 겉보기시야각 = 실시야각 X 배율 (= > 7 X 8 = 52)



1-5. 가대(Mount)

천체 망원경의 경통을 떠받쳐서 보고자 하는 천체로 향하게 해 주는 장치로 매우 중요한 역할을 한다. 경위대식과 적도의식으로 구분 할 수 있다. 경위대식은 단순히 망원경을 흔들리지 않게 지지하는 역할을 할 뿐이지만, 적도의식은 천체의 추적을 가능하게 하며 망원경의 성능과도 직결된다.

(1) 경위대식

가장 기본적인 형태의 마운트로, 좌우로 움직이는 축과 상하로 움직이는 축으로 이루어져 있다. 간단하고 제작하기는 쉬우나 별의 추적이 불가능하다. 카메라 삼각대나 돛소니언식 마운트가 이에 해당한다.

(2) 적도의식 (독일식)

지구의 자전축과 평행하게 회전하는 축(적경축)과 이 축에 직각을 이루는 축(적위축)으로 구성된다. 적위축에 직각으로 망원경이 설치되며 극축과 평행하게 회전하므로 별의 추적이 가능하다.

1-6. 구경비, 초점거리, 배율, 사출동공

구경(D)이란 빛을 받아들이는 주경의 지름을 말합니다. 66mm 망원경이라고하면 주경의 직경이 66mm인 망원경을 의미합니다. 보통 경통에 D=66mm라고 표기되어 있습니다.

초점거리(F)는 렌즈 표면으로부터 빛이 한점으로 모이는 초점까지의 거리를 말한다. 초점거리가 400mm라면 망원경에 보통 F=400mm라고 표기되어있다.

구경비(f)는 렌즈의 구경과 초점거리와의 비율로 이 값의 역수를 f로 표시한다.

$$\text{구경비}(f) = \text{초점거리}(F) / \text{구경}(D) \text{ or } \text{초점거리}(F) = \text{구경}(D) \times \text{구경비}(f)$$

망원경의 배율은 아이피스(접안렌즈)에 따라 바뀝니다. 아이피스도 역시 렌즈로 구성되어 있으며 초점거리가 있습니다. 보통 아이피스에 PL25mm 등으로 표기되어 있는데 PL 아이피스의 종류를 나타내며 25mm는 아이피스의 초점거리를 나타냅니다.

망원경의 배율 = 망원경의 초점거리 / 접안렌즈의 초점거리

구경과 배율

구경(mm)	50	60	80	100	150	200	250
유효최고배율	50배	60배	80배	100배	150배	200배	250배
최저배율	7배	9배	11배	14배	21배	29배	36배

사출동공은 접안렌즈를 통해 들어오는 빛다발의 직경을 말합니다. 망원경의 구경이 66mm라면 직경 66mm의 빛다발이 들어오게 됩니다. 그런데 배율이 50배라면 $66/50 = 1.32$, 즉 1.32mm의 직경을 가지는 빛다발이 접안렌즈를 통해 들어오는 것입니다.

$$\text{사출동공} = \text{구경} / \text{망원경의 배율} = \text{접안렌즈의 초점거리} / \text{망원경의 } f\text{수}$$

관측 대상에 따라서 초점거리가 달라집니다. 비교적 밝은 행성이나 달의 경우에는 고배율로 확대해서 보아야하기 때문에 초점거리가 길수록 유리합니다. 반면, 성운-성단-은하의 경우는 너무 어둡기 때문에 광학계가 밝아야합니다. 보통 광학계의 구조상 망원경의 종류에 따라서 초점거리는 어느 정도 결정됩니다. 아마추어 천문학에서 사용하는 천체망원경을 예로 들면 굴절망원경의 경우 대체적으로 3~6인치로 F수는 4 ~ 10 이며, 반사망원경의 경우 6~15인치로 F수는 4 ~ 6입니다. 카세그레인의 경우는 대체로 장초점입니다.

관측대상에 따른 적정 사출동공

사출동공값	관측대상
5~7mm	넓은 영역에 걸친 희미한 성운, 산개성단, 은하수
3~4mm	딥스카이
2mm	달, 구상성단, 이중성

※ 사출동공값이 크면 저배율, 사출동공값이 작으면 고배율

1-7. f수와 배율 및 상의 밝기

일반적인 광학 망원경의 구경비는 보통 4~10사이의 값을 가집니다. 구경비가 짧은 망원경은 초점거리가 비교적 짧은 망원경이며 구경비가 큰 망원경은 초점거리가 비교적 긴 망원경이다.

(1) 동일 아이피스에 다른 배율, 다른 구경비

아이피스	구경	초점거리	구경비	배율	상의 밝기
20mm	200mm	800mm	4	40배	40배율이 60배율보다 밝다. 보이는 면적 및 시야가 넓기 때문
	200mm	1200mm	6	60배	

(2) 다른 아이피스에 같은 배율, 다른 구경비

아이피스	구경	초점거리	구경비	배율	상의 밝기
20mm	200mm	800mm	4	40배	상의 밝기는 똑같다. 상의 밝기는 구경과 배율에 의해 결정
30mm	200mm	1200mm	6	40배	

(3) 동일 아이피스에 같은 배율, 같은 구경비

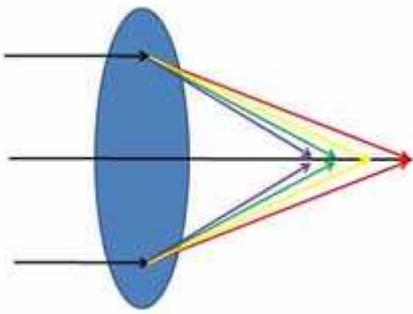
아이피스	구경	초점거리	구경비	배율	상의 밝기
20mm	100mm	600mm	6	30배	상의 밝기는 똑같다. 배율의 차이는 있지만 고배율이 구경이 크기 때문이다.
20mm	200mm	1200mm	6	60배	

(3) 같은 배율, 같은 구경비

아이피스	구경	초점거리	구경비	배율	상의 밝기
10mm	100mm	600mm	6	60배	200mm 구경의 상이 밝다. 같은 배율에서는 구경이 큰 것이 밝다.
20mm	200mm	1200mm	6	60배	

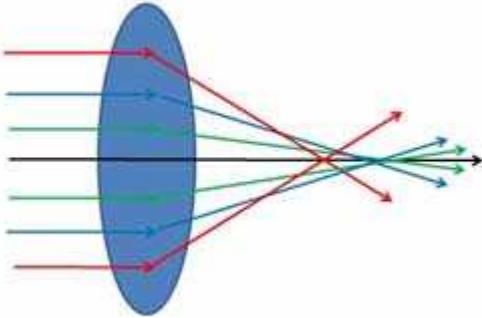
1-8. 수차(Aberration)

(1) 색수차(Chromatic Aberration): 유리의 굴절율은 빛의 파장에 따라 달라진다. 파장이 길어지면 굴절율이 줄어든다. 따라서 대물렌즈를 통과한 빛이 초점에 모일 때 파장에 따라 초점이 맺히는 위치가 달라지는 현상이 일어난다. 색수차를 줄이기 위해 렌즈가 프리즘의 역할을 못하도록 f수가 큰 것을 사용하게 된다. 이것이 바로 굴절 망원경이 구경에 비해 초점거리가 매우 긴 이유다.



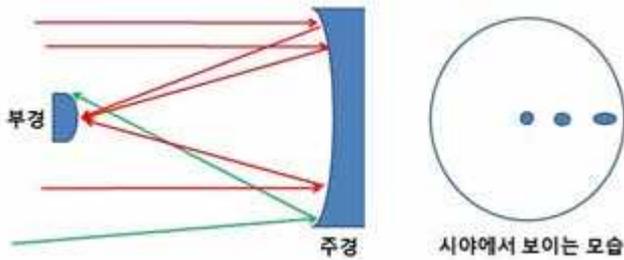
(2) 구면수차

렌즈가 구면으로 되어 있어서 상이 하나의 점으로 모이지 않고 어느 정도 크기를 가진 원형의 상으로 모이는 경우를 말한다. 즉, 렌즈의 중심부를 지나는 광선과 주변부를 지나는 광선이 하나의 초점에 모이지 않기 때문에 생기는 수차로, 아무리 초점을 맞추어도 별이 흐리게 보인다.



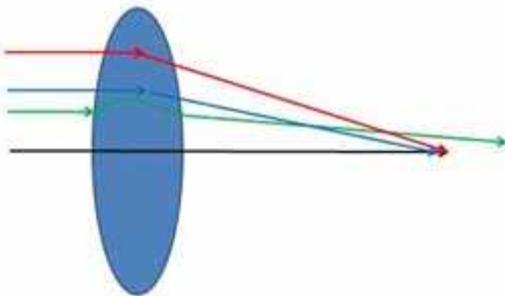
(3) 코마수차

광축을 벗어난 입사광선에서 중심과 가장자리를 지나는 빛이 일치하지 않아 혜성과 같이 꼬리를 늘린 것과 같은 모습일 경우를 말한다. 코마수차는 뉴턴식 망원경의 가장 큰 문제점이기도 하다.



(4) 비점수차

렌즈가 완전한 구면이 아닌 약간 원통형으로 연마되어서 생기는 수차를 말한다. 주로 렌즈의 가공 불량, 재료 불량, 비틀림 등이 원인이 된다.



(5) 만곡수차

물체의 중심부와 주변부 빛의 초점 거리가 같지 않고 상이 곡면을 그리는 수차이다.

(6) 왜곡수차

확대경으로 방안지를 볼 때 가로, 세로 선이 주변부에서 구부러져 보이는 수차이다.