

수학을 사용한 빛의 속도 측정

한남대학교 수학과
김상배 교수

sbk@hnu.kr

<http://sbk.hnu.kr>

연습

건물 높이 재기

강 건너까지 거리재기

울릉도 독도전망대(317m)에서 볼수 있는 독도 부분

독도전망대 : 317m

독도 높이 : 169m

울릉도에서 독도까지 거리 90km

<http://wolframalpha.com>

$R=6368 ; R1=R+0.317 ; R2=R+x ;$

$\text{solve}(\text{sqrt}(R1^2 - R^2) + \text{sqrt}(R2^2 - R^2) = 90);$

$x= 55 \text{ m}$

그러므로 $169-55 = 114\text{m}$ 윗부분

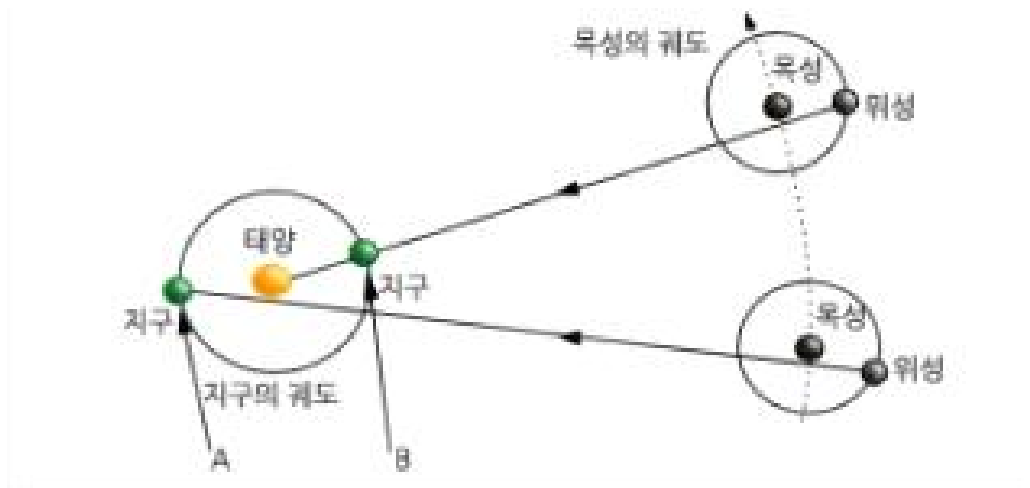
갈릴레이의 계산(실패)



빛의 속력을 최초로 측정하려고 했던 사람은 갈릴레오 갈릴레이 (1564~1642)였다. 그는 빛의 속력을 측정하기 위해 실험을 계획했다. 밤에 갈릴레이와 그의 조수는 각각 램프와 램프 덮개를 하나씩 들고 약 1.6km 정도 떨어진 산봉우리에 올라갔다. 두 사람은

램프의 빛을 서로 주고받으면서 빛의 속력을 측정하기로 했다. 갈릴레이가 램프를 덮고 있던 덮개를 열고 그의 조수가 그 빛을 보았을 때 조수는 즉시 그의 램프 덮개를 연다. 갈릴레이가 덮개를 열고 난 후 조수에게서 오는 빛을 보는 사이의 시간이 빛이 두 사람 사이를 왕복하는데 걸리는 시간이 된다. 실험 결과 두 사람 사이의 거리가 너무 가까워 빛의 속력을 제대로 측정할 수 없었지만, 갈릴레이의 시도는 빛의 속력을 측정하려는 노력의 시발점이 되었다는 점에서 큰 의의가 있다.

로머의 계산



덴마크의 천문학자 로머(Ole Roemer, 1644-1710)는 최초로 빛의 속력을 과학적인 방법으로 측정한 사람이다. 그는 목성의 위성 이오가 목성의 그늘에 숨는 시간이 변하는 현상을 이용

해 빛의 속력을 구하는 데 성공했다.

지구와 목성은 태양을 공전하는데, 로머는 관측을 통해 지구가 목성과 가까운 위치에 있을 때 이오가 목성에 가려지기 시작하는 시간(이오의 월식이 시작되는 시간)이 지구가 목성과 먼 위치에 있을 때 보다 약 22분 빠르다는 것을 알게 되었다. 즉, 이오의 공전주기가 22분 차이난다는 것을 알게 되었다. 이 22분은 지구의 공전궤도 지름 길이만큼 빛이 이

동하는데 걸리는 시간이므로, 빛의 속력은 약 220,000,000m/s가 된다.

$$\frac{\text{지구 공전 궤도 지름 길이 (294,000,000km)}}{\text{빛이 이동한 시간 (1320 s)}} = \text{빛의 속력 (약 220,000,000 m/s)}$$

비록, 정확한 빛의 속력 값(299,792,458m/s)에는 미치지 못했지만, 그 당시, 천문 관측의 정확도가 지금보다 낮았다는 것을 고려하면, 그의 측정 결과는 정말 대단한 것이었다. 뢰머는 평소 뉴턴과도 교류가 있었는데, 그가 측정한 광속 값이 뉴턴의 저서에 소개되기도 하였다.

피조의 계산



천문 현상을 이용하지 않고, 실험 장치를 이용해 빛의 속력을 측정한 최초의 사람은 프랑스 물리학자 피조 (H.L. Fizeau, 1819-1896)다.

피조의 장치는 멀리 떨어진 두 점 사이를 빛이 왕복할 때 걸린 시간을 재는 것으로, 광원에서 나오는 빛이

회전하는 톱니바퀴의 톱니 틈을 통과하게 한 후 그 빛이 멀리 있는 거울에 부딪혀 되돌아오게 하였다.

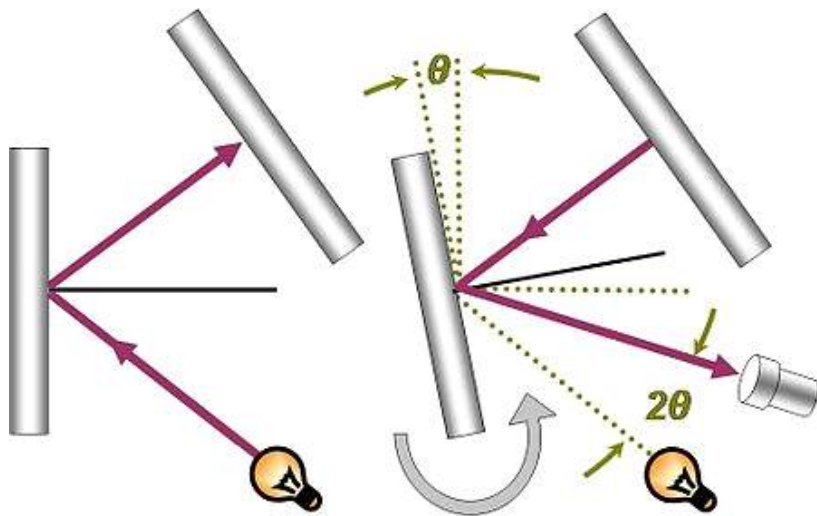
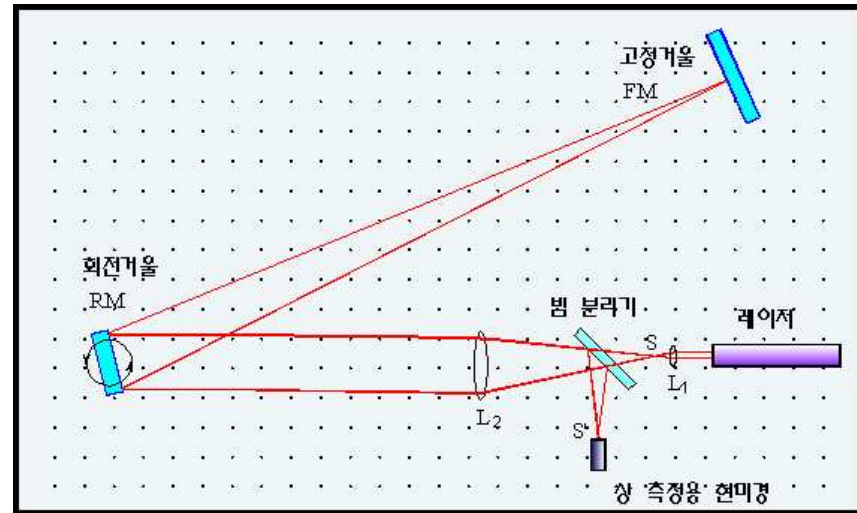
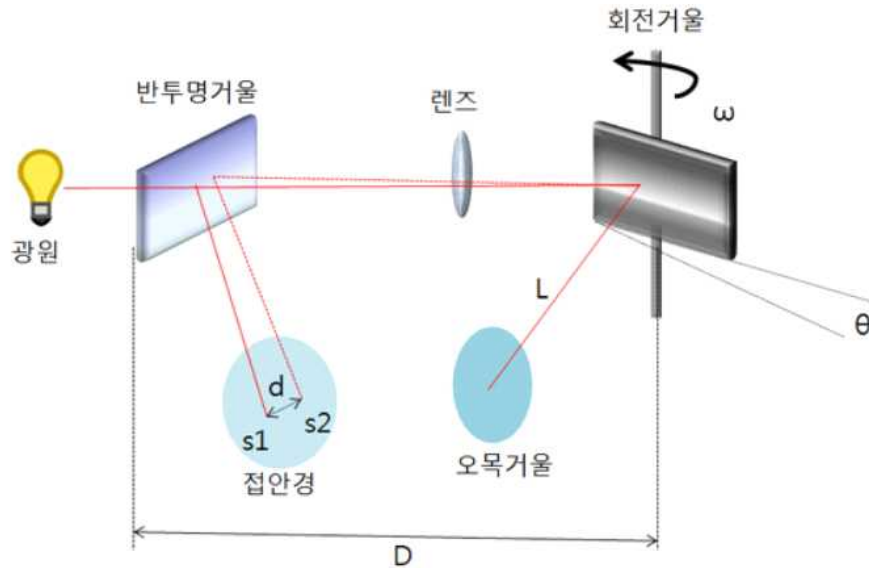
피조가 사용한 톱니바퀴의 톱니수는 720개였는데, 빛이 17,200m(편도 8,600m)를 진행하는 동안 톱니바퀴는 한 바퀴의 1/1440만큼 회전을 해야 톱니 뒤에서 보고 있는 사람의 눈에 빛이 관측되지 않는다. 이 때 (사람의 눈에 빛이 관측되지 않을 때)의 톱니바퀴의 초당 회전수(약 12.6)를 알면, 빛의 속력을 구할 수 있다.

즉, 빛의 속력은 빛이 이동한 거리를 빛이 이동하는 데 걸린 시간으로 나눈 것이므로 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\text{빛의 이동 거리}(17,200 \text{ m})}{\text{걸린시간} \{ (1/1440) / 12.6 \}} = \text{빛의 속력 (약 } 313,000,000 \text{ m/s)}$$

피조가 이렇게 구한 빛의 속력 값은 약 313,000,000m/s 이다. 이 실험 결과 또한 그 당시의 측정 장치의 정확도를 고려하면, 매우 대단한 것이다.

푸코의 계산



광원에서 방출된 빛은 45도 기울어진 반투명거울을 지난다. s1은 반투명거울로 경로가 바뀐 빛이 접안경에 나타난 지점이다. 거울을 통과한 빛은 렌즈를 지나 회전거울, 오목거울, 회전거울, 렌즈를 순서대로 지난 뒤에 다시 반투명 거울에 반사가 되어 s2지점에 도달한다.

빛이 L 을 왕복한 시간 t 초 동안 거울의

회전 각속도가 ω 이면 거울이 회전하는 각은 $\theta = \omega t$ 이다. 거울에 반사되는 빛의 각 변화는 2θ (다음 페이지 참조)이므로, 회전 거울과 접안경 사이 거리를 D 라 하면, s_1 과 s_2 사이의 거리 d 는

$$d = D 2\theta = D 2\omega t$$

이다. 그러므로 $t = D 2\omega / d$ 이다. 광속 c 는 빛이 왕복하는 거리 $2L$ 를 왕복시간 t 로 나눈 것이므로

$$c = 2L / t = 2LD 2\omega / d = 4\omega LD / d$$

가 된다. 여기서 푸코가 사용한 변수는 다음과 같다

$$L = 20m$$

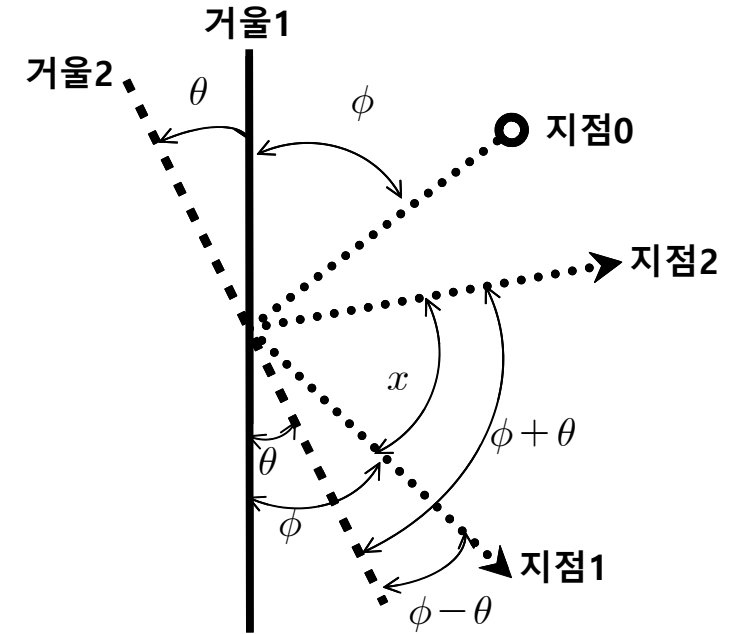
$$\omega = 2\pi f \quad (f = 800) : \text{거울의 초당 회전수}$$

$$D = 0.5m$$

푸코는 실험에서 $d = 0.7 \text{ mm}$ 를 얻었다. 따라서 관측된 빛의 속도는 $2.98 \times 10^8 m$ 가 나온다.

거울 회전에 의한 빛의 출사각 변화

거울에 입사각 ϕ 로 들어온 빛은 반사하여 출사각 ϕ 로 나간다. 따라서 **지점0**에서 출발한 빛이 **거울1**에 반사하여 **지점1**로 간다. **거울1**을 각도 θ 만큼 회전하여 **거울2**가 되면 **지점0**에서 출발한 빛은 **거울2**에 반사하여 **지점2**로 간다. 이 때 출사각은 입사각 $\phi + \theta$ 와 같다.



그 때 **지점1**과 **지점2** 사이의 각 x 를 구해보자. 그림을 보면

$$x = (\phi + \theta) - (\phi - \theta) = 2\theta$$

임을 알 수 있다.