

탐구수업 지도자료

- 수정본 -

- 학 년 중학교 2학년
- 단 원 지구와 별
- 소 단 원 4장 지구의 모양과 크기
- 제 목 도입
- 대표 저자 최승언(서울대학교)
- 공동 저자 고선영(서울서연중학교)
오영록(경기영덕고등학교)
권홍진(경기퇴계원고등학교)
한주용(서울대학교)
이석우(서울대학교)

이 자료는 서울대학교 과학교육연구소가 교육인적자원부의 과학교육 연구기관으로 지정받아 수행하고 있는 「탐구·실험 중심의 과학교육 활성화를 위한 연구개발 사업」의 일환으로 개발되었습니다.



서울대학교 과학교육연구소

Seoul National University Science Education Research Center



제 4 장

지구의 모양과 크기



서울대학교
과학교육연구소

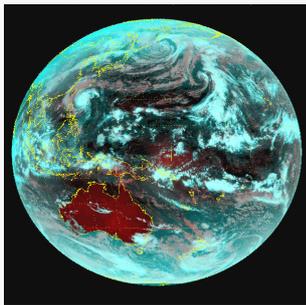
배경지식 넓히기

1. 지구의 모양

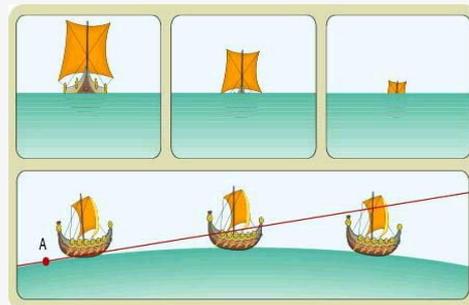
(1) 지구가 둥근 증거¹⁾

① 인공위성에서 찍은 지구의 사진은 둥글다.(그림 1)

과학 기술의 발달로 인공위성의 사진은 지구가 구형이라는 사실을 명확히 말해준다.
(실시간 기상청 사진 http://www.kma.go.kr/weather/picture/sat_data.jsp)



[그림 1 기상청 위성사진]



[그림 2] 바다에서의 멀어져가는 배의 모습

② 멀리서 오는 배는 돛부터 보인다.(그림 2)

지구가 평평하다면 배의 모습은 크기의 변화만 있을 뿐 부분적인 모습에서 전체의 모습으로 변하지는 않는다. 구면에서만 배가 가까이 올수록 돛대부터 보이기 시작하여 배의 아래 부분까지 차차 보이게 된다.

③ 같은 위도 상에서 동쪽으로 갈수록 해나 별이 빨리 뜬다.

우리나라에서 거의 같은 위도 상에 있는 서울과 동해는 해 뜨는 시간이 약 8분정도 차이가 난다. 만약 지구가 평평하거나 직육면체나 원반의 형태라고 했을 때는 해 뜨는 시간은 거의 같을 것이다.



서울대학교
과학교육연구소

1) 윤흥식 외 역, 우주로의 여행 I 청범출판사,
니콜라스 코페르니쿠스, 천체회전에 관하여 서해문집



서울대학교
과학교육연구소

④ 배를 타고 지구를 한바퀴 돌면 제자리로 돌아온다.(그림 3)

1519년 마젤란은 지구가 둥글다는 확신을 가지고 여행을 시작했다. 마젤란은 향료의 주산지인 아시아의 몰루카 제도에 가기 위해 대서양과 태평양을 횡단하였다. 그는 필리핀에서 원주민에게 살해되었으나, 그의 부하들이 항해를 계속하여 3년 만에 에스파냐로 돌아옴으로써 최초로 세계 일주에 성공하였다. 이로써 지구는 둥글다라는 것이 증명되어 중세의 관념상으로 존재 했던 지구의 모양에 대한 논란이 끝이 났다.



[그림 3] 마젤란의 세계일주 항로

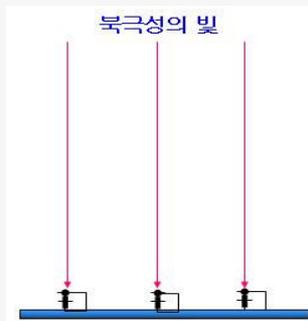


[그림 4] 월식 때의 모습

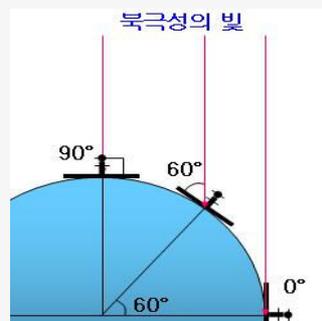
⑤ 월식 때 달에 비친 지구의 그림자가 둥글다. (그림 4)

지구의 모양이 원반이나 원통이라면 태양이 비추는 각도에 따라서 가끔 직선이나 직사각형의 모습이 나타날 것이다. 그런데 월식 때 보이는 모습은 항상 구형을 이루고 있다. 즉 지구를 어떠한 각도에서 태양이 빛을 비추더라도 그림자가 원이 되려면 지구가 구의 형태를 띠어야 한다.

⑥ 북쪽으로 갈수록 북극성의 고도는 높아진다.



[그림 5] 지구가 평평할 때



[그림 6] 지구가 둥글 때

평평한 지구에서라면, 모든 사람들이 같은 별들을 바로 머리 위쪽에서 볼 수 있을 것이다. 이것을 설명하는 유일한 방법은 여행자가 지구의 휘어진 표면을 따라 움직이면서, 서로 다른 각도에서 별들을 본다고 하는 것이다.

⑦ 비행기의 경로의 최단 거리는 위도상의 거리가 아니다.

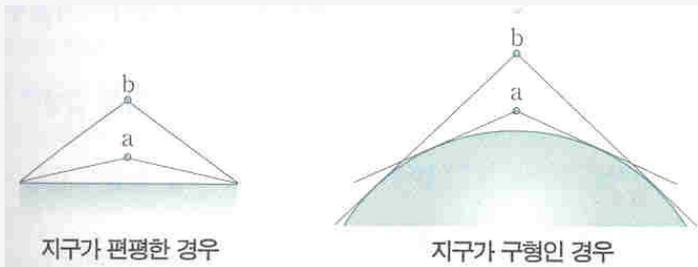
서울에서 파리를 가려고 하면 위도상의 선을 따라 가는 것이 아니라 북극을 통과하여 간다. 그 이유는 구면의 특성상 북극을 통해서 가는 것이 비행경로의 최단거리가 되기 때문이다.



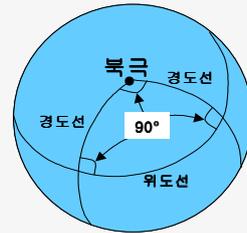
⑧ 같은 경도상에서 같은 시간대에 고위도로 갈수록 그림자의 길이가 길어지고 태양의 고도도 낮아진다.

⑨ 높은 곳으로 갈수록 시야가 넓어진다.(그림 7)

옛날 배를 타는 영화를 보면 바다에서 육지를 찾을 때 갑판에서 보는 것보다는 돛대 꼭대기에 올라가서 주변을 살핀다. 이러한 이유는 그림에서와 같이 지구가 둥글기 때문에 위로 올라갈수록 시야가 넓어진다.



[그림 7] 지구가 편평할 때와 구형일 때 시야의 차이



[그림 8] 구면삼각형

⑩ 세 각이 90°인 삼각형을 지구에서 그릴 수 있다.(그림 8)

간단히 생각해 보면 북극에서 90°가 되는 두 경도선을 설정하고 그 두 경도선을 따라 내려오는 선과 만나는 임의의 위도선을 생각해 보자. 경도선과 위도선은 항상 수직이기 때문에 북극점을 제외한 나머지 두 각은 90°가 된다. 이렇게 만들어진 삼각형은 세 꼭지점의 각이 90°인 삼각형이 된다. 이것은 구면에서만 가능하며 평면에서는 허용되지 않는 성질이다.

(2) 고대인의 세계관²⁾

① 고대 중국인의 우주관

고대 중국인들은 하늘을 바라보는 관점이 서양과는 많은 차이가 있었다. 중국인들은 하늘을 물리적 대상으로만 바라보지 않고, 그것을 인간 및 만물을 포함하는 자연세계 전체의 모든 존재 근거와 그 변화의 근원으로서 바라보았다. 따라서 하늘을 물리적 대상으로 바라보는 관점은 서양에 비해 상대적으로 덜 강조되었고 지구의 모양에 대해서는 큰 관심을 두지 않았다.

중국의 고대 우주관은 기원전 3세기 전까지는 천원지방(하늘은 둥글고 땅은 네모지다)이라는 막연한 것이었다. 또한 우주의 모양은 관측 기술의 한계로 우주 생성론과 함께 주로 신화의 형태를 띠면서 과학적인 사고보다는 관념적인 사고방식으로 이야기되었다. 이후

2) 이문규, 고대 중국인이 바라본 하늘의 세계, 문학과 지성사, 박창범, 하늘에 새긴 우리 역사 김영사, 윤홍식 외 역, 우주로의 여행 I 청범출판사, 정성희, 우리조상은 하늘을 어떻게 이해했는가, 책세상



서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소



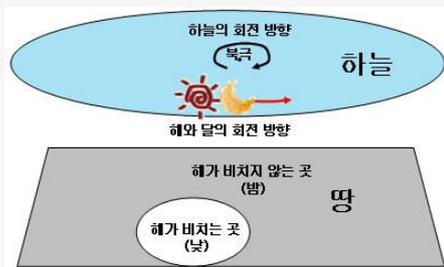
서울대학교
과학교육연구소

기원전 2,3세기부터는 개천설이 등장하면서 좀더 과학적인 우주 구조론이 만들어지게 된다. 개천설은 기원전 2, 3세기부터 후한 시대까지 중국의 천체 구조론이었으며 다시 혼천설이 등장하면서 혼천설이 후한 시대부터 서양 천문학이 전래되기 시작한 17세기까지 중국의 천체 구조론으로 자리 매김 하였다.

고대 우주론의 큰 특징은 하늘을 고정된 물체로 보았다는 점이다. 개천설은 하늘을 평면이나 반구의 고체로 보고 땅은 평평한 모양이나 반구의 모양으로 그렸다. 초기 혼천설의 경우는 하늘과 땅을 내외의 개념으로 보았다. 즉 하늘은 구면의 고체로 존재하고 그 안에 땅이 있다고 보았으며 땅의 형태에 대해 정확한 규정은 하지 않았다. 이후 송대에 이르러서는 성리학의 등장으로 우주의 공간이 움직이는 기로 이루어진 무한의 공간으로 바뀌게 되어 하늘의 고체성이 부정되었다.



㉠ 개천설

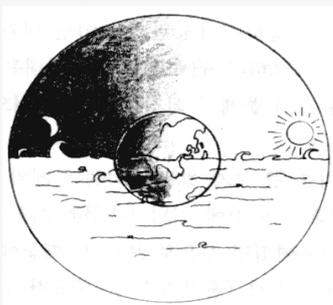


이 설은 기본적으로 위에는 고체로 된 하늘, 아래는 땅이라고 본다. 옛날에는 현대처럼 관측기구나 과학첨단 장비가 존재하지 않았기 때문에 하늘을 관측하는 기구는 규표라는 막대기 하나에 의존했다. 이 설은 규표를 이용하여 천지의 넓이를 측정하고 태양의 위치에 따른 계절의 변화, 1년의 길이 등을 결정하기 위하여 고안되었다.

초기 개천설의 하늘과 땅의 모습 이 설을 구체적인 모습으로 살펴보면 하늘은 둥근 평면이거나 반구 형태의 면이고, 땅은 바둑판처럼 네모나다. 하늘은 동에서 서로 돌고 해와 달은 서에서 동으로 돈다고 생각했다. 해와 달은 서에서 동으로 돌지만 하늘이 더 빨리 돌아 하늘에 이끌려 동에서 서로 움직이는 것처럼 보인다고 생각했다. 개천설은 하늘과 땅을 두 평면으로 보고 규표와 그림자를 이용(삼각측량법 이용)하여 하늘과 땅의 거리를 80만리로 보았다. 또한 하늘의 해나 그 밖의 천체는 북극을 중심으로 하여 원 위로 움직인다고 생각하고 밤낮이 생기는 원인은 땅이 태양으로부터 멀거나 가깝기 때문이라고 보았다. (태양이 빛을 비추는 거리가 한정되어 있다고 가정한다. 이는 밤에 햇불을 비췄을 때 밝은 곳이 한정되는 것을 보고 유추했다.)



㉡ 혼천설



이 설은 개천설이 상하 관계에 있는 두 평면의 하늘과 땅을 그렸다면 하늘과 땅이 바깥과 안에 있다는 내외 관계로 하늘과 땅을 설명했다. 즉 고체로 된 구면의 하늘(일종의 구면천문학이라고 할 수 있다)과 그 안에 땅이 있다고 생각했다. 그러나 하늘은 구면이라고 생각한 반면 땅의 모양에 대해서는 분명하게 밝히지는 않았다. 왜냐하면 고대 중국인들에게는 땅의 모양이 어떤가는 크게 중요하지 않았기 때문이다.

혼천은 각도를 재는 기구가 만들어지면서 각도로서 하늘을 측정하기 시작했는데 그러한 천문의기가 바로 혼천의다. (이



것은 사분의의 원리와 비슷하다. 사분의를 참조) 하늘을 회전하는 고정된 구로 보고 그 위에 남북극을 설정한 다음, 다시 적도 및 황도 좌표를 설정하였다. 또한 적도와 황도 위에 동지와 하지, 춘분과 추분을 정하고, 계절에 따른 태양 운행의 변화로 낮과 밤의 길이와 태양의 출몰 방위를 나타냈다.

② 초기 그리스와 로마의 우주론

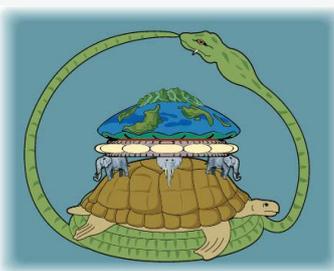
기원전 5, 6세기 철학자이자 수학자인 피타고라스는 원과 구가 “완전한 형태”라는 철학적인 관점에서 지구는 둥글다라고 말했다. 이후 아리스토텔레스는 월식이 진행되는 동안 나타나는 지구의 그림자가 항상 둥글고, 여행자가 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 북극성의 고도가 낮아진다는 이 두 가지 사실을 들어 지구는 둥글다고 주장했다. 이처럼 서양은 일찍부터 땅의 모습이 둥글다는 주장이 제기되었다. 그러나 실제로 이러한 우주관이 서양 전체의 우주관으로 자리 잡기까지는 항해술이 발달하고 마젤란이 세계 일주(1521)를 함으로써 지구는 둥글다는 것이 증명되면서부터였다.

③ 그 외 고대인들의 우주관

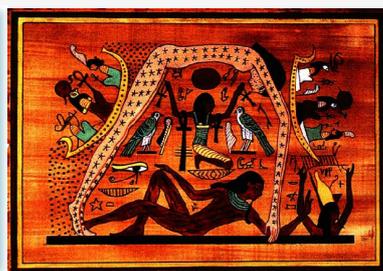
고대 이집트인들은 대지는 동서남북으로 길게 뻗은 직사각형의 평평한 형태를 하고 있고, 하늘은 직사각형의 평면 천장이 대지와 평행하게 뻗어 있다는 식으로 천지를 인식했다. 그들은 하늘의 여신 누트가 평평한 땅을 에워싸고 있으며, 누트의 몸에는 별들이 아로 새겨져 있고, 매일 저녁 태양을 삼켰다가 새벽에는 다시 토해 내기 때문에 낮과 밤이 생긴다고 생각했다. 인도인들은 대지는 얇은 접시를 얹어놓은 모양이고 대지의 중심에 있는 높은 산을 중심으로 해와 달, 행성들이 돈다고 생각했다. 이러한 인도인들의 우주관은 불교가 성립된 후, 수미산을 중심으로 9륜의 땅과 8환의 바다가 동심원 형태로 이루어져 있다는 다분히 종교적인 색채를 띠게 된다. 고대 수메르인들은 기원전 4500~4000년경에 지금의 이라크 땅인 메소포타미아 지역에 나타나 약 2천년동안 그 지역을 지배하다가 사라진 민족으로 메소포타미아 문명을 건설하였다. 수메르 사람들은 눈에 보이는 그대로의 하늘은 둥근 천장 모양이고 땅은 편평하다고 믿었으며, 별·달 및 태양은 그 안에서 운동한다고 생각하였다.



수메르인의 우주관



인도의 우주관



이집트의 우주관

④ 우리나라의 고대 우주관

현재 우리나라에 전해지고 있는 우주의 구조에 대한 공식적인 전통 이론은 중국에서 들어온 우주관이다. 그중 우리나라의 천문 사상에 가장 큰 영향을 미친 우주 구조론은 개천설과 혼천설이다. 개천설, 혼천설의 전래가 확실치 않으나 삼국 시대까지는 개천설이 주



첨성대

우주관이었으며, 고려 이후부터 17세기 서양 천문학이 전래되기까지 중국과 마찬가지로 혼천설이 우리나라 우주론의 정설로 여겨졌다. 개천설의 천원지방의 관념은 삼국 시대 고구려 벽화와 신라의 첨성대 등에서 나타난다. 첨성대의 구조를 보면 기단부를 원형으로 하고 맨 꼭대기에 정(井)자 형의 돌을 얹었는데 이것은 천원지방(하늘은 둥글고 땅은 네모지다)을 상징하는 것이다.



서울대학교
과학교육연구소

2. 지구의 크기

(1) 지구 크기 측정에 있어서의 가정

① 원의 중심각이 증가하면 호의 길이도 비례하여 커진다.

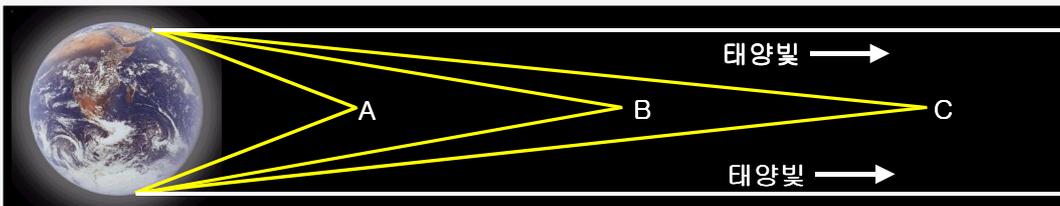
이것은 지구의 크기를 잴 때 구면에서의 두 지점의 거리(호의 길이)와 그 두 지점과 구의 중심 간의 각(중심각)을 알면 원의 둘레를 구할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 가정이 깔려 있는 상황에서 에라토스테네스는 시에네와 알렉산드리아의 거리를 구하고 태양의 남중 고도를 이용하여 그 두 지점과 중심 간의 사이각을 구하였다.

② 태양빛은 지구의 모든 지역에 평행하게 비춘다.

태양은 그 크기에 비해 지구로부터 너무 멀리 떨어져 있어서 지구의 어느 곳에서 관측하든 태양 빛은 거의 평행선으로 보인다. 지구 근처의 한점에 있는 광원을 생각하자. 거기에서 나온 빛은 끝이 퍼져 두 경로를 따라 지구의 서로 다른 지점에 도착한다. 만약 이 점이 지구에서 점점 더 멀리 떨어지면(A→B→C→무한대) 지구의 서로 다른 지점에 도달하는 빛의 사이 각은 점점 작아지고 무한으로 떨어진 곳에서는 광원에 대해 빛은 평행선을 따라 운동한다. 물론 태양은 무한히 멀리 떨어져 있지도 않고 태양의 한 점으로부터 지구에 도달하는 빛들도 퍼져서 도달하지만 그 각은 맨 눈으로 인식하기에는 너무 작은 양이다.



서울대학교
과학교육연구소

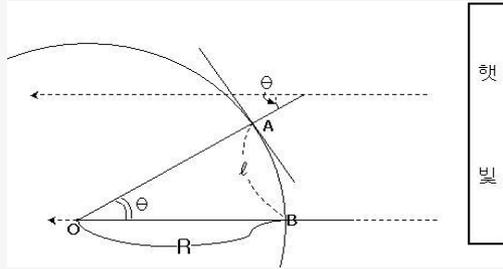


③ 하나의 직선이 2가닥의 평행선과 만났을 때, 그 사이각(엇각)은 어느 평행선에서나 같다.

이것은 지구 중심과 두 지점 간의 사이각을 직접 측정하기 어려우므로 중심 사이각을 재기 위해 필요한 기하학적인 가정이다. 즉 그림과 같이 태양 빛이 지구의 두 지점을 비추고 있을 때 Φ 를 구하기 위해서는 평행한 햇빛과 관측 지점과 지구의 중심을 지나는 하나의 직선사이에 생기는 엇각의 성질을 사용하여야 한다.



서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소

④ 지구는 구형이다.

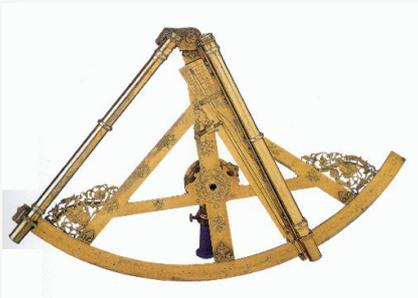
아리스토텔레스는 두 가지 근거(월식과 북극성의 고도)를 들어 지구는 둥글다고 했다. 에라토스테네스는 이 근거를 기초로 지구의 크기를 재었다. 만약 지구가 평면이라면 태양과 땅과의 거리를 구할 수 있을 것이다. 실제로 고대 중국인들은 규표를 이용하여 태양과 땅의 거리는 8만리라고 계산하였다.(개천설)

3. 사분의 이용과 원리

(1) 사분의란

별의 고도나 방위각을 잴 때는 쓰는 도구를 말한다.

(2) 사분의 원리와 이용



사분을 사용하는 방법은 우선 사분을 수평 또는 수직이 되게 한다. 사분을 수평으로 사용할 때는 별의 방위각을 측정할 때이고, 수직으로 사용할 때는 별의 고도를 측정할 경우이다. 그런 다음에는 사분원의 중심과 그 원주를 연결하는 직선 막대를 통해 별을 관찰하게 된다. 그렇게 되면 막대의 끝에 달린 화살표가 그 변의 위치(고도나 방위각)를 알려주게 된다. 이러한 사분의의 오차는 사분의의 크기가 크면 클수록 작아지게 된다. 따라서 큰 사분을 사용하여 별을 관측하였



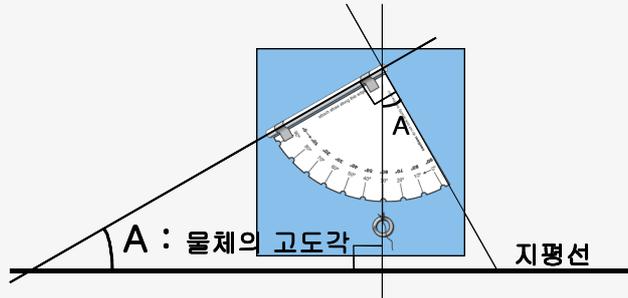
서울대학교
과학교육연구소

다.

사분의로 별이나 달, 주변의 높은 곳의 꼭대기를 관측하면 그림과 같이 된다. 빨대를 통해서 관측하고자 하는 사물을 보게 되면 그림에서 추는 지구 중심을 향하기 때문에 지평선과 수직을 이룬다. 또한 사분의의 각 변은 수직을 이루고 있기 때문에 직각 삼각형의 특성상 물체의 고도각 A는 그림에서 관측하는 빨대 맞은편의 변에서부터 추까지의 사이각이 된다.



서울대학교
과학교육연구소



여기서는 지구의 크기를 측정하는 방법으로 북극성의 고도를 측정하기 위해 사분의의를 만드는 활동을 준비했다.



탐구 활동을 위한 안내

1. 탐구 활동 목록

	제 목	분 류 [성격/ 수준/ 장소]	기 타
활동1	지구의 모양은?	탐구/ 일반/ 실험실 및 야외	새 탐구
활동2	지구본의 크기는 어떻게 짤까?	탐구/ 일반/ 실험실 및 야외	교과서 탐구
활동3	태양의 남중고도를 이용하여 지구의 실제 크기 구하기	탐구/ 심화/ 야외	확장 탐구
활동4	북극성의 고도를 이용한 실제 지구의 크기 구하기	관찰/ 심화/ 야외	확장 탐구



2. 선정 이유

- 활동 1.** 지구의 모양이 둥글다는 증거에 대해 알아본다.
- 활동 2.** 에라토스테네스가 지구의 크기를 잰 방법을 이해하고 지구본의 크기를 측정해 본다.
- 활동 3.** 태양의 남중 고도를 이용하여 지구의 실제 크기를 계산해 보도록 한다.
- 활동 4.** 사분의의 원리를 이해하고 간단한 사분의로 북극성의 고도를 측정하여 지구의 크기를 계산하는 방법을 알아본다.

