

태양 그림자 관측 실험 활동에 의한 관측지의 방위와 태양의 남중시각 및 남중고도의 결정

이 용 복

서울교육대학교, 서울특별시 137-742

Determination of Direction, Sun's Meridian Transit Time and Altitude by the Observations of the Sun's Shadow as a Experimental Activity.

Yong Bok Lee

Department of Science Education, Seoul National University of Education, Seoul 137-742, Korea

요 약

과학 실험 활동의 하나로 지면에 10cm 정도의 막대기를 세워 놓고 태양 남중 시각 전후로 4시간 정도 태양의 그림자를 측정하였다. 시간에 따라서 측정한 그림자 길이를 이용하여 그림자 길이가 최소가 되는 시각과 그 때의 그림자 길이를 구하였다. 이것을 이용하여 남중시각과 남중고도를 구하였다. 또한 방향에 따른 그림자 길이와의 관계를 이용하여 정확한 북쪽 방위를 구하였다. 이 실험 과정을 통하여 태양의 남중시각과 남중고도를 간단하게 구하고, 또한 정확한 방위를 결정하는 방법을 알아내었다. 이 결과에서 거의 실제와 같은 값을 얻었다.

주제어 : 태양 그림자, 남중고도, 남중시각, 방위 결정

서 론

천체를 이용하여 방위를 결정하고 시간과 계절을 정하는 방법은 인류의 문명과 함께 시작되었다고 해도 과언이 아니다. 이미 특히 기원전 2500년경에 건설되었다고 하는 피라미드의 경우도 기하학적으로 정확하게 건설했을 뿐만 아니라, 밀면의 면이 남북과 동서 방위로 정확하게 배치하고 있어 현대 과학적으로 보더라도 놀랄 만하다. 그 방위를 오차가 불과 1/6도 이하 일 정도로 정확하게 4방위에 일치시키고 있다(바우벌과 길버트, 1999). 현대의 정확한 기술과 방법으로 피라미드의 구조를 측량하면 할수록 피라미드의 건설은 치밀한 설계 하에 계획적으로 수행했음을 알게 되었다. 우리나라의 경우만 하더라도 고

조선 시대에 건립된 것으로 알려진 고인돌과 그 주위에 있는 무덤방들 중 일부는 정확하게 특정한 방위에 맞추어져 있음도 발견하였다(이용복, 1996). 이 외에 여러 곳에서 고인돌들의 배열을 특정 방위에 고정시킨 것으로 추정되는 곳이 있다. 이렇게 특정 방위에 고인돌이나 유적을 축조할 때 사용한 천체로서 주로 태양을 활용해 왔다.

태양의 운동을 이용하여 방위를 결정하거나 시간과 계절을 알아내려는 활동은 아주 오래전부터 있어왔던 일이다. 중국 의 경우 기원전 7세기 이전인 춘추시대부터 이러한 방법을 사용했다. 막대기를 지면에 수직하게 세워 놓고 그림자의 길이와 방위를 측정함으로써 시각을 결정하고, 방위까지도 정확하게 측정했다는 기록이 보인다. 특히 중국의 진한시대(秦漢時代) 이전에 저술된 것으로 보이는 가장 오래된 수학책인 주비산경(周髀算經)에 보면 규표(圭表)라는 관측 기기로 그림자의 길이를

*교신저자: yblee@snu.ac.kr, Tel: 02-3475-2456, Fax: 02-3475-2263

*이 논문은 초청논문임.

측정하여 계절과 관측한 곳의 위치를 구했다고 한다.

현재에도 정확한 방위를 측정하는 것은 태양이나 별의 운동을 이용하는 것이 가장 간단하고 손쉬운 방법이다. 물론 나침반을 이용할 수 있지만 이는 진북과 자북과의 사이각인 편각이 지방의 위치에 따라 또 시대에 따라 변하기 때문에 정확한 방위를 구하는 것은 쉬운 일이 아니다. 본 연구에서는 태양 그림자의 길이와 방향 변화를 측정하여 정확하게 관측지의 위치와 방위를 구하는 원리를 학습에 도입하고자 한다. 이와 유사한 활동으로 손쉽게 자신이 사는 집의 방위를 구하는 시도도 한 경우도 있다(조성호, 2006, 2007).

학생들에게 천체의 운동을 지도할 때 가장 큰 어려움 중 하나가 공간상 위치가 시간에 따라 변화하는 천체들의 운행 원리이다. 본 연구는 이러한 과학 활동을 통하여 시간에 따른 천체의 위치 변화를 관측하여 관측 지방의 방위와 위치를 구하는 원리를 이해시키고자 한다. 이런 목적으로 오래전부터 예비 교사인 교육대학 학생들에게 이와 관련된 과학 학습 활동을 해오고 있다. 이 활동은 학생들이 직접 관측한 결과를 분석하는 과학 활동의 하나로서 준비한 것이다. 우선 태양의 남중시각 전후 2시간 정도 관측하여 그림자가 향하는 방위와 그림자 길이를 측정하도록 하는 활동을 했다. 이것의 분석 과정을 통하여 관측지에서의 남북의 방위와 남중시각 및 남중 고도를 결정하

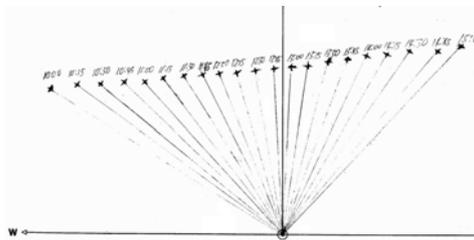
는 활동을 하였다

연구 방법 및 결과

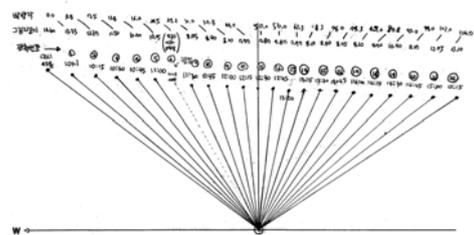
태양 그림자의 관측

우선 평평하고 고정된 판자면에 관측용 판지를 부착시키고, 지정된 위치에 10 cm 정도의 직선 막대기 또는 영침(影針)을 수직하게 세운다. 이것을 대략 알고 있는 북쪽 방향과 일치시킨다. 측정하는 동안 판자면을 계속 햇빛이 드는 곳에 수평이 되도록 위치시킨다. 그리고 일정한 시간이 경과할 적마다 영침(막대기)에 의해서 생기는 그림자 끝의 위치를 표시하고, 그 때의 시각을 기록하여 일영곡선(태양 그림자)을 작성한다. 본 내용에서는 15분 간격으로 측정하였다.

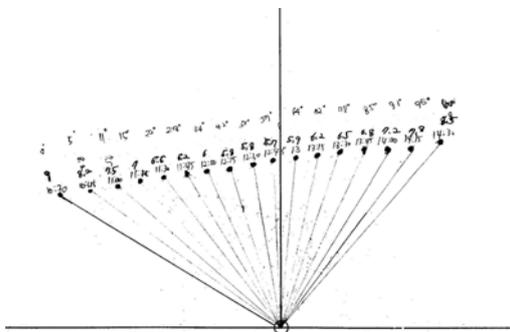
우리나라에서 태양의 남중 시각이 12시 30분 경 근처이므로 그림자 측정은 오전 10시 30분 이전에 시작하여 오후 2시 30분 이후까지 4시간 동안 15분 간격으로 측정하였다. 물론 관측은 꼭 15분 간격이 아니더라도 무방하지만 시간에 따른 그림자의 위치를 비교하기 위해 동일한 간격으로 측정하였다. 관측이 끝난 후에는 사용한 영침의 길이를 정확하게 재어서 관측 용지에 기입하였다.



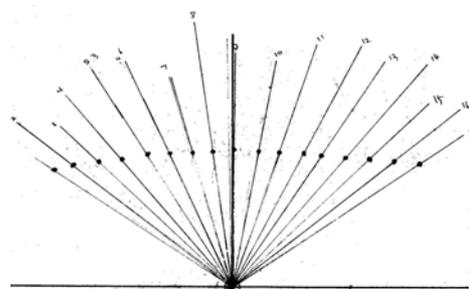
(A) 2007년 3월 18일 (서울 풍납동)



(B) 2007년 3월 18일 (서울 일원동)



(C) 2007년 4월 7일 (서울 서초동)



(D) 2007년 4월 28일 (서울 서초동)

그림 1. 태양의 그림자를 측정한 예

그림 1은 학생들이 실습 활동으로 직접 관측하여 얻은 그림자 곡선이다. 이 실습에 참여한 학생은 35명으로 이중 전체 학생의 2/3 정도는 비교적 정확하게 측정했다. 관측한 학생 중에서 4명을 선택하여 그림에 나타낸 것이다. 이 관측은 시기적으로 춘분인 3월 21일 이전과 이후에 실시하였다. 그림자의 길이 변화는 춘분이 지나면 지날수록 관측한 그림자의 길이가 전반적으로 짧아진다. 이는 태양의 남중고도가 하지로 갈수록 높아지기 때문에 전반적으로 그림자 길이가 점점 짧아지기 때문이다.

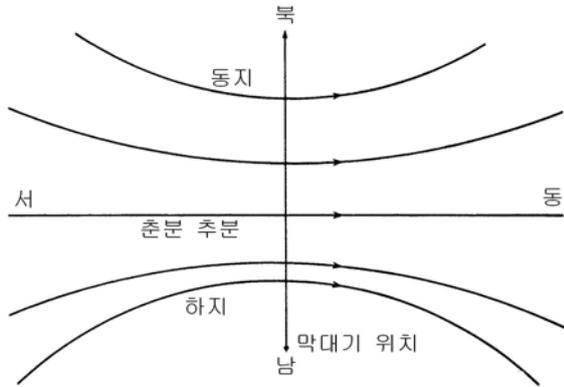


그림 2. 계절에 따른 그림자가 이동하는 모습

참고적으로 일 년 동안 일정 기간 간격으로 막대기의 그림자 위치를 측정한다면 그림 2와 같은 모습으로 나타난다. 이는 하루 동안 태양이 운행하는 경로가 계속 변한다는 것을 의미한다. 그림자 곡선의 모습을 간단히 살펴보면 다음과 같다. 춘분과 추분은 서쪽에서 동쪽으로 일직선으로 그림자 끝이 지나간다. 하지날의 경우는 춘분과 추분날보다 아래쪽 위치에서 위로 볼록한 곡선으로 나타나고, 동지날의 경우는 막대기의 위치에서 먼 곳에 아래로 볼록한 형태로 나타난다. 이는 태양이 천구상을 운행하는 경로가 계절에 따라 달라지고, 태양의 남중고도가 계속 변하고 있기 때문이다.

그림 1에 보이는 4개의 관측은 거의 춘분날 근처에 관측했기 때문에 그림자 끝을 연결한 선의 형태는 동서 방향으로 직선 모양이 나타나는 것을 알 수 있다.

그림자의 길이와 방향 측정

분석의 첫 단계로 우선 그림자의 길이가 시간에 따라 변하는

값을 측정하고, 이어서 그림자가 향하고 있는 방위가 서쪽에서 동쪽 방향으로 변하는 각도의 값을 측정하였다. 그림자의 길이가 시간에 따라 변하는 값은 cm 단위로 측정하였다. 그리고 태양의 그림자 방향의 변화는 첫 번째 관측한 그림자를 기준으로 하여 시계 방향으로 변하는 각도를 도 단위로 측정하여 표를 만들었다. 이를 그림자가 향하고 있는 방향각이라 정했다. 각각 측정된 결과의 값은 표 1과 같다.

표 1은 위의 4명의 학생들 중 서울 풍납동에서 관측한 그림 1A의 결과이다. 이 관측 결과를 예로 하여 실제 계산에 단계별로 사용하였다. 그림자 관측은 편의상 일정 시간 간격인 15분으로 하도록 했다. 이는 같은 시간 간격으로 관측하더라도 그림자의 방향각은 등간격으로 변하지 않는다는 사실을 이해하도록 하기 위해서였다. 그리고 그 까닭이 무엇인지 각자 해결하도록 했다.

표 1. 시간에 따른 그림자의 길이와 방향각의 변화 (막대 길이 10.2cm)

관측 번호	관측시각 (시:분)	그림자 길이(cm)	방향각 (도)
1	10:00	13.5	0
2	10:15	12.5	4
3	10:30	11.6	8
4	10:45	10.9	12
5	11:00	10.2	16
6	11:15	9.7	21
7	11:30	9.2	27
8	11:45	8.8	32
9	12:00	8.5	37
10	12:15	8.3	43
11	12:30	8.2	49
12	12:45	8.2	55
13	13:00	8.3	61
14	13:15	8.4	67
15	13:30	8.7	73
16	13:45	9.0	78
17	14:00	9.5	83
18	14:15	10.0	88
19	14:30	10.6	93
20	14:45	11.3	98
21	15:00	12.1	102

남중시각과 남중고도의 결정

천구 위에 있는 천체의 위치를 정의하기 위해서는 기준들의 정의가 필요하다. 관측 지점에서 지평선을 볼 때 북쪽 방향인 북점에서 천정을 지나 지평선의 남점을 잇는 가상의 원호를 천구자오선이라 한다. 천체가 동쪽 지평선에서 떠올라 서쪽으로 넘어갈 때 자오선을 통과하게 되는데 이를 남중이라 정의하고 있다. 태양의 경우는 항상 천정과 남점 사이에서 남중하기 때문에 태양이 남중할 때 태양은 항상 정남쪽에 오게 된다. 따라서 이때의 그림자는 정북 방향으로 생기고, 그림자 길이는 하루 중에서 가장 짧게 된다. 여기서 그림자 길이가 최소가 되는 시각을 구한다면 이것이 바로 남중 시각이 되고, 이 때 그림자의 길이를 이용하면 남중 고도를 알 수 있게 된다.

표 1에서 관측 시각에 따른 그림자의 길이 변화의 자료를 따로 분리하여 그래프를 그리면 그림 3과 같이 된다. 그림자의 길이는 cm 단위로 표시하여 y-축으로 정하고 관측한 시각은 분 단위로 정하여 x-축으로 정하여 그 변화를 그린 그래프이다. 그림 3에서 보면 시간에 따라 그림자 길이가 점점 짧아지다가 12시 30분과 40분 사이에 가장 짧아졌다가 다시 길어지는 것을 알 수 있다. 그림자의 길이가 최소가 될 때의 시각이 태양의 남중 시각이 된다.

관측 시각에 따른 그림자 길이의 변화는 좌우대칭의 모습을 가진 거의 2차 곡선의 형태를 보인다. 이 그래프에 나타난 그림자 길이가 최소가 되는 시각과 그 때의 그림자 길이를 구할 때, 이 함수 변화 곡선에 최적함수를 구하도록 하지 않고 x-축을 좌우로 접어서 그래프의 대칭축을 이용하여 구하도록 한다. 이 때 그 대칭축이 x-축과 만나는 위치가 남중 시각이 되고, 이 때 그림자 길이가 남중고도와 관련된다.

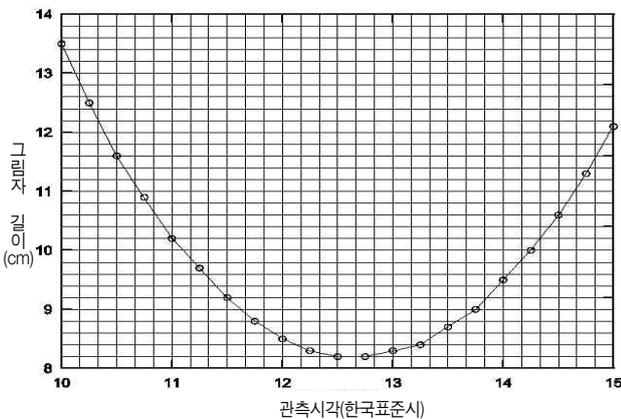


그림 3. 관측 시각에 따른 태양 그림자 길이의 변화

좌우 대칭축을 찾을 때 만일 비대칭이 된다면, 이는 그림자 측정 용지를 지면과 평행하게 위치를 시키지 못했거나, 세워놓은 막대기가 수직하지 않기 때문이다. 대부분의 학생들은 이 곡선이 정확하게 대칭을 이루지 않고 약간 비대칭이 나타난다. 이 때문에 남중 시각과 남중 고도에 오차가 생기게 된다. 만일 막대기가 동서방향으로 수직방향에서 1도가 기울어졌다면 남중 시각은 4분의 오차가 생기게 된다. 이렇게 대칭축을 찾아서 구한 남중 시각과 그림자 최소길이는 표 2와 같다.

표 2. 그림자가 최소가 되는 시각과 최소 길이

측정 내용	측정 값
최소가 되는 시각	12시 40분
최소 길이	8.2 cm
남중 고도	51.2 도

남중고도의 결정은 막대 길이를 최소가 되는 그림자 길이로 나누어서 공학용 계산기를 이용하여 arctan를 취하면 구해진다. 위의 학생의 결과는 대단히 정확한 값을 얻었다. 실제로 이날 서울 지방의 태양 남중시각은 12시 40분이고 남중 고도는 51도였다. 이 관측 결과를 분석해 보면 태양의 그림자 관측은 대단히 정확하다. 보통 학생들이 정확하게 측정한 경우의 값을 보면, 거의 정확한 값에서 +/- 1.5도 범위에 들어온다.

이와 같은 방법으로 임의의 시각에 대한 그림자의 길이를 알아내면 그 때의 태양 고도를 간단히 구할 수 있다. 동일한 방법으로 학생들에게 임의의 시각에 대하여 그림자 길이를 구하여 태양의 고도를 측정하도록 했다. 이 실험 활동 과정으로 학생들에게 태양의 고도 개념을 익히게 하고, 고도를 직접 구할 수 있는 방법을 알게 한다.

정북 방위의 결정

다음은 정확한 방위를 구하는 문제이다. 앞에서 알아본 바와 같이 천구자오선은 지평선과 북점과 천정 그리고 지평선 남쪽 방향인 남점을 연결한 원호를 말한다. 이 때문에 태양이 남중했을 때 태양의 방위는 정확하게 정남쪽에 오게 된다. 따라서 태양이 남중했을 때 막대기에 의해 생기는 그림자는 정북쪽을 향하게 된다.

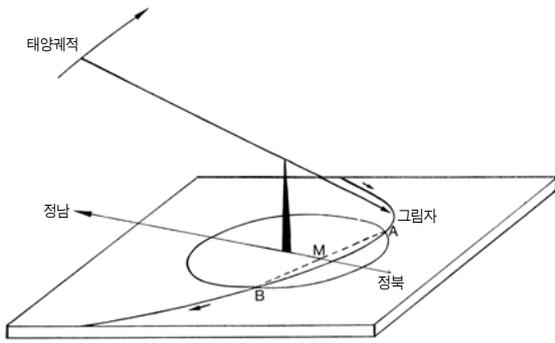


그림 4. 그림자의 이동을 이용한 정남과 정북 방향 결정 방법

태양의 그림자를 이용하여 정북을 결정하는 방법은 선사시대부터 알려져 왔다. 가장 간단한 방법으로 지면에 원을 그리고 중심에 나무 막대를 세워 놓은 상태에서 그림자를 측정한다. 이 때 그림자 끝을 연결한 곡선이 원호와 만나는 두 점에서 만나는 위치를 구한다. 이 두 점의 직선을 수직이등분 했을 때 막대기를 향한 방향은 정남이 되고, 반대쪽은 정북이 된다(Rohr, 1970).

그림 4에서 보듯이 태양이 천구상을 운행할 때 원의 중심에 있는 막대기에 의해서 생기는 그림자는 원호 위 A와 B의 위치에서 교차된다. 이 원호를 연결한 직선 AB의 수직이등분선의 위치는 M이다. 막대기를 세워놓은 위치와 M을 연결한 직선은 정북이고 그 반대 방향은 정남인 셈이다.

학생들의 활동에서 얻은 표 1에서 그림자가 향한 방향각과 그림자의 길이를 그래프로 그리면 그림 6과 같다. 이 그래프에서 방향각 변화는 x-축으로 정하고, 그림자 길이 변화는 y-축으로 정한다. 이 결과에서 중요한 점은 일정 시간 간격에 따라 변하는 그림자의 방향각은 등간격이 아니라는 점이다. 이것은 태

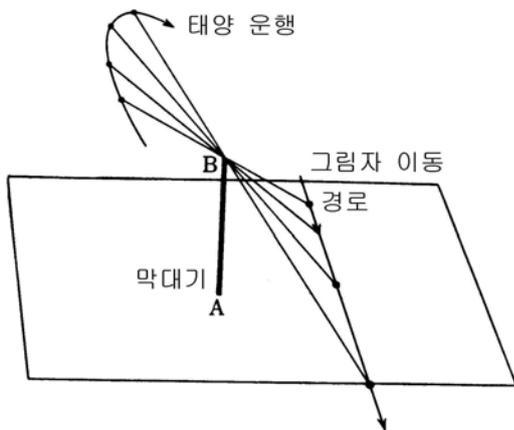


그림 5. 춘분과 추분날 천구상 태양의 운행 경로와 그림자의 이동 모습

양이 천구상에서 운행하는 면과 지면과는 그림 5와 같이 평행으로 놓여져 있지 않기 때문이다.

이 간격은 태양이 남중할 때가 가까워올수록 좁아지고 멀어질수록 벌어진다. 이 간격은 지방의 위도와 계절에 따라 변하게 된다. 평면해시계를 만들 때 이 간격을 고려해서 만들어야 한다(Rohr, 1970; 이용복 외, 2001).

관측한 결과를 정리한 표 1에서 방향각에 따른 그림자 길이의 변화는 그림 6과 같다. 그림 6에서 그림자가 최소가 되는 방향각을 구하는 것은 기준선에서 몇 도 떨어진 곳이 정북인가를 구하는 실험이다. 이 활동에서도 방향각에 따른 그림자의 길이 변화는 거의 포물선을 그리게 된다. 위와 같은 방법으로 대칭축을 찾아서 그 대칭축이 x-축과 만나는 위치를 구한다. x-축과 만나는 위치가 태양이 남중했을 때 그림자가 향하는 방향으로서 정북을 가리키게 된다. 위의 태양의 그림자 측정 활동으로 구한 학생의 값은 아래의 표 3과 같다.

표 3에서 보듯이 기준선에서 53도가 되는 위치에 그림자가 올 때 가장 그림자가 짧아지고 이 방향이 정북이 된다. 그림자를 측정할 때 태양 남중 시각을 구하면 이 때 수직하게 세워 놓은 막대기의 그림자가 향하는 방향이 정북이 된다.

이 결과를 이용하면 정북 방향을 기준으로 태양의 방위각 시간에 따라 어떻게 변하고 있는지 알 수 있다. 임의로 정한 방향각과 태양 남중시 방향각을 알면 간단하게 태양의 방위각을 구

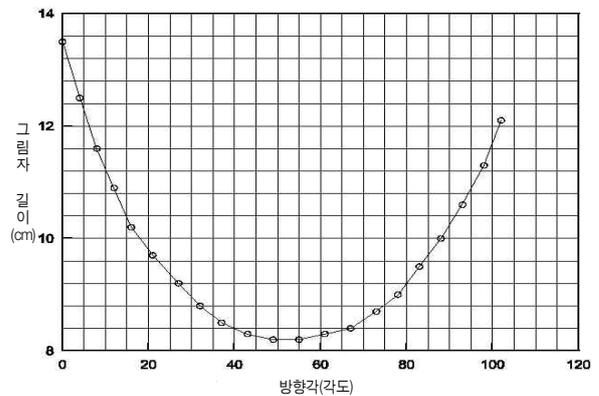


그림 6. 관측한 태양의 방향각에 따른 태양의 그림자 길이

표 3. 그림자가 최소가 되는 방향각과 최소 길이

측정 내용	측정 값
최소 길이	8.2 cm
최소일 때 방향각	53.0 도

할 수 있다. 이 때 방향각과 방위각과의 관계는 다음과 같다.

$$\text{방위각} = (\text{방향각} + 180^\circ) - \text{남중시방향각}$$

위 관계식에서 그림자의 방향각에 180도를 더하면 태양의 방향각이 되고, 이 값에서 남중시 방향각을 빼면 태양의 방위각이 된다. 참고적으로 태양의 방위각은 천정에서 태양을 지나는 원호를 지평선에 내린 점의 위치를 말한다. 태양의 방위각은 지평선의 북점 위치에서 지평선을 따라 시계방향으로 지평선 태양의 방위를 측정된 값을 말한다. 따라서 태양이 남중할 때 그림자가 향하는 방위각은 0도가 되고, 태양의 방위각은 180도 된다. 따라서 정확한 정북 방향을 알면 임의의 시각의 태양의 방위각을 간단하게 구할 수 있다.

결론

앞에서 알아본 바와 같이 학생들에게 태양의 그림자를 측정하는 실험 활동을 하면 태양의 남중시각과 남중고도를 직접 구할 수 있고, 정확한 정북 또는 정남 방위를 알아낼 수 있다. 더불어 시각에 따른 태양의 고도 변화와 방위각의 변화를 직접 학생들에게 이해시킬 수 있다. 이 실험 과정을 통하여 우리 생활 속에서 천체를 이용하여 어떻게 방위를 결정하고 또한 시간을 알 수 있는지 생활에 직접 적용할 수 있다.

이러한 실험 활동은 단순히 천체의 운행에 따른 고도와 방위각을 이해시키는 것뿐만 아니라, 과거 우리 조상들은 방위를 결정할 때 나침반과 같은 기기가 없던 시기에도 정확한 방위 결정 방법을 이해하고 있었다. 고대인들도 천체 운행의 원리를

이용한 과학적 사고를 하였음을 알 수 있다.

Abstract

We observed the length and direction of the Sun's shadow using 10 cm gnomon as a scientific activity for students. The observing duration is about four hours around the Sun's meridian transit time. The Sun's meridian transit time and height is derived by the relation between observing time and length of the shadow. The correct azimuth of north is fixed by direction of sun's shadow. We obtain reasonable results that has error range within 1.5 degree.

key words : Sun's shadow, meridian transit time, meridian transit height, determination of direction

참고문헌

- 바우벌, 길버트 (1999) *The Orion Mystery*. 도반 옮김. 열림원
- 이용복 (1996) 평라리 고인돌 방위에 대한 고찰. 평라리 선사유적(보유편), p. 60-87, 충북대학교 박물관, 한국수자원공사.
- 이용복, 이용삼, 이해주, 이성환(2001) 과학 학습활동에서 활용할 수 있는 해시계의 제작과 활용방안. 과학재단연구보고서 조성호 (2006) 동지날 집에서 할 수 있는 무전여행, 물리학과 첨단기술 12월: 66-67.
- 조성호 (2007) 우리의 집은 과연 남향인가?, 물리학과 첨단기술 3월: 42-43.
- Rohr RRJ (1970) *Sundials : History, Theory, and Practice*. Dover Publ. Inc.