

지구과학 교과 영역 탐구 활동 소재로서의 월면 회전

김 혁*

경기과학고등학교, 440-800 경기도 수원시 장안구 송죽동 산 28-1

An Inquiry Activity in the Subject Matter of Earth Science: Apparent Rotation of Lunar Configuration

Hyouk Kim*

Gyeonggi Science High School, Suwon 440-800, Korea

Abstract: The purpose of this study is to investigate the relationship between lunar and earth rotation, by quantitatively describing the rotation of lunar configuration which is observed during the lunar diurnal motion. Our research suggests that observation of the lunar diurnal motion could be used as a study topic in the earth science courses. The rotation of the lunar configuration is an apparent phenomenon that can be seen when an observer, standing on the ground, looks at the moon as if the lunar dark configuration rotates on the basis of horizontal line. In spite its competence as a study topic because it is observable by naked eyes, there are only few major textbooks that introduce this phenomenon with regard to the earth rotation. Therefore, this study induced the mathematical principle of the lunar rotation in detail and proposed that this could be developed as a scientific inquiry through practical observation. In addition, an analytical proof and qualitative method of explanation of the lunar reverse rotation were also presented.

Keywords: inquiry activity, rotation of lunar configuration, earth rotation,

요약: 본 연구는 달의 일주 운동에서 관찰되는 월면 무늬의 겹보기 회전 운동에 관해서 정량적으로 기술하고 관측 결과를 제시하여 지구과학 교과 관점에서 지구 자전 현상과의 연관성을 고찰하였다. 이러한 연구를 통하여 달의 일주 운동 관측이 지구과학 교과 영역에서 수행할 수 있는 탐구활동 소재 중의 하나로 구성될 수 있다는 것을 제시하고자 한다. 월면 무늬 회전은 지표면에서 있는 관측자가 일주 운동하고 있는 달을 보고 있을 때 달 표면에 있는 어두운 무늬들이 지평선에 대해서 회전하고 있는 것처럼 보이는 현상이다. 이 현상은 육안으로도 쉽게 관측되므로 지구과학 탐구 요소로서 의문을 풀어볼 만한 자연현상임에도 불구하고 이 현상을 지구 자전과 관련된 내용으로 소개하고 있는 지구과학 전공 영역 서적을 찾아보기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 월면 회전 현상의 이론적인 원리를 수학적으로 상세히 유도하고, 실제 관측을 통하여 이 현상이 지구과학 교과 영역의 탐구 소재로서 개발될 수 있는 가능성을 제시하였다. 또한 월면의 역회전 현상을 제시하고, 이를 수학적으로 증명하였으며 정성적인 이해가 가능하도록 설명 방법을 고안하여 소개하였다.

주요어: 탐구 활동, 월면 무늬 회전, 지구자전

서론

연구의 필요성 및 목적

현행 제 7차 교육과정에서는 달의 운동에 관한 내용을 3학년(초등학교 3학년)과 9학년(중학교 3학년)에서 다루고 있다. 또한 11~12학년에서는 지구과학

I(심화 과정 선택)의 “천체의 관측” 단원에서 망원경을 이용한 달의 관측이 교수-학습의 활동으로 제시되어 있다(교육부, 2000). 따라서 이와 같은 우리나라의 교육과정 편제를 볼 때, 국민공통기본교육과정을 이수하는 모든 학생은 달을 소재로 한 학습 내용을 최소한 두 번, 또는 교과목의 선택 여부에 따라서는 총 3회까지도 달을 관측 할 기회를 가지게 된다는 것을 알 수 있다. 달이 교과내용의 소재로 되어 있는 3학년과 9학년의 과학 탐구 활동을 Table 1에 정리하였다(공구영 외, 1997; 교육인적자원부, 2001).

*Corresponding author: hkim@jb.man.ac.uk
Tel: 44-0-161-374-2374
Fax: 44-0-147-757-1618

Table 1. Existing inquiry subject with respect to observe the moon

학년	단원	학습 내용	탐구 요소
초등학교 3-2	3. 지구와 달	달의 표면 모습 관찰하기 하룻밤 동안의 달의 움직임 여러 날 동안의 달의 모양과 위치변화 달 탐사 계획 세우기	달의 물리적 상태 지구의 자전 달의 공전
중학교 3	IV. 지구와 우주 1. 지구와 달	태양과 달 및 지구의 크기 달의 모양 변화 달의 뒷면은 왜 볼 수 없을까? 일식과 월식은 왜 일어날까? 바닷물은 달을 좋아하는가?	달의 크기 달의 공전 달의 자전 달의 공전궤도 기울기 기조력

이와 같이 현행 교육과정을 분석하여 보았을 때, 달을 소재로 한 탐구 활동 주제로 가장 많이 제시된 것은 달의 공전과 관련되어 있는 달의 위상 변화라는 것을 알 수 있다. 또한 달의 자전, 달의 크기, 달의 공전궤도 기울기, 기조력, 달 표면의 물리적 상태, 지구자전 등이 달을 소재로 한 탐구활동으로 제시되어 있다(Table 1 참조). 그 밖에도 대학지구과학 실험서와 같은 전공 서적에는 천체 망원경으로 확대 촬영한 달 표면 사진을 이용하여 크레이터의 높이를 측정하는 탐구 활동도 소개되어 있으며, 한 달 동안 달의 겉보기 크기 변화를 측정하여 달이 타원형의 공전궤도를 가지고 있다는 것을 탐구할 수 있는 활동도 있다(조경철, 2000; 김철희, 2005). 그러나 초등학교 3학년의 교과내용으로 제시된 “달의 표면 모습 관찰하기”와 “하룻밤 동안의 달의 움직임”을 제외하고는 현행 교육과정에 제시된 활동들이 거의 여러 날 관찰해야 하거나, 확대 촬영 장비가 필요한 활동들이어서 실제 교수-학습에서 관측적인 탐구활동을 수행하기에는 큰 제한점을 가지고 있음을 알 수 있다.

본 연구의 목적은 달을 관측 소재로 하여 지구 자전에 관한 탐구 활동을 할 수 있도록 기초 지식을 정립하여 제시하는데 있다. 이를 위하여 달이 일주운동을 하는 동안에 그 표면의 무늬가 회전하는 것처럼 보이는 현상을 이용하였다. 이 현상은 Meeus (1991)에 의해 “The Parallactic Angle”이라고 소개된 바 있으나 유도과정이 생략되어 있으며, 또한 Nassau (1948)와 Smart et al.(1965)에도 그 용어만 언급되어 있을 뿐 특별한 의미를 부각시키지 않고 있다. 이처럼 월면회전에 관한 내용은 전공영역의 서적에서도 자세히 다루고 있지 않아서 누구에게나 쉽게 관측되는 현상임에도 불구하고 지구과학 전공자들도 잘 인지하지 못하고 있다. 따라서 이 월면회전 현상을 지

구과학 교과영역에서 탐구활동의 소재로 적용하기 위해서 교사와 학생의 수준에서 이해할 수 있도록 보완적인 설명이 필요하다고 생각하였다. 본 연구에서는 수학적인 유도과정을 통하여 이 현상의 원리를 상세히 제시하였고, 실제 월면회전을 관측하여 관측 결과를 분석하고 설명을 덧붙였다. 또한 지금까지 구체적으로 언급된 바가 없어서 거의 알려지지 않고 있던 월면의 역회전 현상에 대해서도 자세히 분석하여 기술하였다.

본 연구에서 시도한 월면 역회전에 대한 정량적 규명과 정성적인 설명은 새로운 지구과학적 탐구 주제로 개발될 수 있는 기초로 제공될 수 있을 것이다. 지구과학은 교과 교육적 측면에서 탐구수행을 위한 관측 소재가 매우 제한되어 있으므로 이와 같은 연구를 통하여 동일한 소재를 가지고 다양한 탐구 활동을 할 수 있도록 주제를 새롭게 개발하려는 노력이 더 많이 필요할 것이다. 특히, 현행 교육과정의 초등학교 3-2에서 “하룻밤 동안의 달의 움직임”이 지구의 자전 때문이라는 것을 제시하고 있으므로, 고등학교 지구과학의 지구 자전 단원에서 “하룻밤 동안의 월면 회전”이 지구 자전 현상과 연관되어 있다고 제시된다면 교수-학습의 내용이 나선형으로 구성될 수 있으리라고 생각한다.

용어의 정의 및 해설

본 연구에서 사용되는 용어를 다음과 같이 정의한다.

월면 무늬: 지구에서 달을 육안으로 관측할 때 달 표면의 검게 보이는 부분들을 총칭하여 월면무늬라고 한다.

월면 회전: 지구의 한 지점에서 있는 관측자가 일주운동 하고 있는 달을 보고 있을 때 월면무늬들이 달의 중심을 축으로 하여 회전하고 있는 것처럼 보

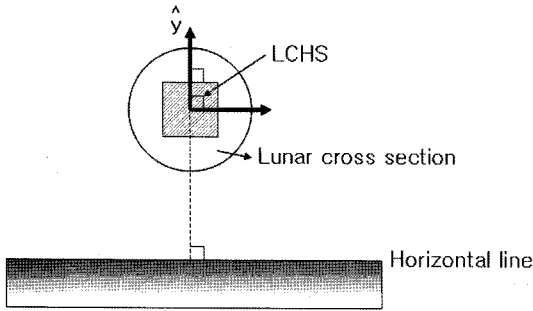


Fig. 1. Definition of LCHS (Lunar-Centric Horizon System).

이는 현상을 말한다.

월면 역회전: 월면회전의 방향이 바뀌게 되는 현상을 말한다.

현의 회전: 달의 위상이 반달일 때 남중근처에서는 현이 지평면에 수직으로 똑바로 서 있는 것처럼 보이나, 지평선 근처에서는 달이 눕거나 엎어져 있는 형태로 보여서 마치 반달이 돌아간 것처럼 보이는 현상을 현의 회전이라고 한다. 이는 달이 일주하는 동안에 공전도 하기 때문에 태양-달-지구의 위치관계가 미소하게 변하게 되는 것을 제외하고는 원리적으로 월면회전과 같다.

월면회전에 관한 이론적 배경

월면회전은 좌표계의 회전변환이라는 선형대수 문제의 하나이므로 회전행렬이나 구면기하학을 이용하면 쉽게 이해할 수 있다. 그러나 좌표계를 월면에 직접 적용하여 유도과정을 제시한 선행 연구는 없으므로 여기서는 그 과정을 자세히 서술하고자 한다. 월면회전을 수학적으로 기술하기 위해서 “달 중심 지평 좌표계(Lunar-Centric Horizon System; 이 후 LCHS 라고 함)”를 설정한다. LCHS는 천구면에 있는 달의 중심을 원점으로 하고 지평좌표계의 고도 증가방향 단위벡터 \hat{y} 을 기준선으로 하는 평면극좌표로 정의할 수 있다(Fig. 1 참조).

한편, 월면회전을 정량화하는데 불필요한 복잡함을 피하기 위해서, 달의 표면에 있는 무늬들(또는 모든 점들)은 달의 중심을 지나는 시간권에 대해서 고정되어 있다고 가정한다. 이는 칭동에 따른 달 표면의 움직임이 지구자전에 의한 월면회전에 비해 무시할 수 있을 만큼 작다고 하면 타당한 가정으로 받아들일 수 있다. 따라서 월면무늬의 회전량은 달의 중심에서

수직권과 시간권이 교차하면서 이루는 각도에 일정한 상수를 더한 값이 된다. 달이 남중하였을 때부터 월면회전의 각도를 측정한다고 하면 일정한 상수를 0으로 놓을 수 있어 편리하다.

이러한 상황을 구면좌표계 위에 나타내면 Fig. 2와 같다. 어떤 임의의 시각에 관측자가 달을 보고 있을 때 달이 남중한 후부터 그 시각까지 월면무늬가 회전한 각도는 달의 중심에서 시간권과 수직권이 교차하여 이루는 각 ψ 가 된다. 구면위에서 두 대원이 만나서 이루는 각은 교차점에 접하는 평면에 각 대원이 투영되어 생긴 두 직선에 의한 각이므로, 구면 삼각법의 몇 가지 정리를 이용하면 간단하게 방정식을 유도할 수 있다. 일단 Fig. 2에서 나타낸 구면상의 삼각형 PZL에서의 변의 길이와 각도는 각각 다음과 같은 의미를 갖도록 정의한다.

- ϕ : 관측자의 위도
- δ : 달의 중심 적위
- h : 달의 중심 고도
- H : 달의 중심 시간각
- Az : 달의 중심 방위각
- ψ : 월면 회전 각도

구면 삼각형 PZL에 sine 공식과 cosine 공식을 적용하면 각각 식 (1)과 식 (2)를 얻을 수 있다.

$$\frac{\sin(90-h)}{\sin H} = \frac{\sin(90-\phi)}{\sin \psi} = \frac{\sin(90-\delta)}{\sin(360-Az)} \quad (1)$$

$$\cos(90-\phi) = \cos(90-h)\cos(90-\delta) + \sin(90-h)\sin(90-\delta)\cos \psi \quad (2)$$

위의 두 식은 삼각함수의 변환공식에 의해서 각각 식 (3)과 식 (4)로 변환된다.

$$\frac{\cosh}{\sin H} = \frac{\cos \phi}{\sin \psi} = \frac{\cos \delta}{-\sin Az} \quad (3)$$

$$\sin \phi = \sin h \sin \delta + \cosh \cos \delta \cos \psi \quad (4)$$

따라서 구하고자 하는 월면회전 각 ψ 은 다음과 같은 관계로 나타낼 수 있다.

$$\sin \psi = \frac{\sin H \sin \phi}{\cosh} \quad (5)$$

$$\cos \psi = \frac{\sin \phi - \sin h \sin \delta}{\cos \delta \cosh} \quad (6)$$

이제 식 (5)와 식 (6)을 정리하면 식 (7)과 같은

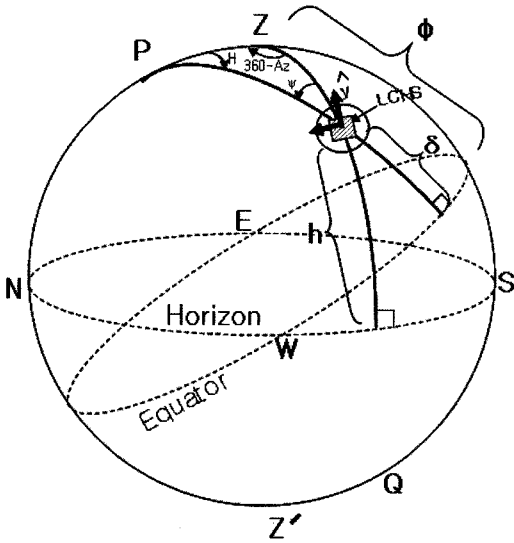


Fig. 2. Relation between spherical coordinate system and LCHS

관계식으로 표현된다(자세한 유도과정 부록 A-1 참조).

$$\tan \psi = \frac{\sin H}{\cos \delta \tan \phi - \sin \delta \cos H} \quad (7)$$

따라서 자오선에 있을 때부터 회전한 월면회전의 각도는 다음과 같다.

$$\therefore \psi = \tan^{-1} \left(\frac{\sin H}{\cos \delta \tan \phi - \sin \delta \cos H} \right) \quad (8)$$

위에서 얻은 식 (8)을 이용하여 시간각에 따른 월면회전 각도를 그래프로 나타내었다(Fig. 3). 이는 관

측자가 위도 $\phi = 37.5^\circ$ 인 지점에서 일주운동을 하고 있는 달을 보았을 때 LCHS상에서 월면회전이 어떻게 일어나는지를 보여주는 것이다. 이와 같은 결과는 Hjellming(1983)이 제시한 “Parallactic angle”에 대한 값과 일치하며 여기서는 황도경사 23.5° 와 백도와 황도의 경사 5.1° 에 의해서 달의 적위는 $\pm 28.6^\circ$ 의 범위를 가지므로 적위를 -30° 부터 $+30^\circ$ 까지 10° 간격으로 나타내었다.

관측 및 자료 처리

육안 관측

앞에서도 언급한 것처럼 월면회전의 효과를 육안으로 볼 수 있는 경우는 상현이나 하현달의 일주운동이다. 여기서는 상현달의 육안관측 결과에 대해서 기술한다. 실제 학교 현장에서 학생들이 관측한 결과를 제시하는 것이 당연하나, 육안관측을 결과물로 만들어 내는데 제한점이 있고, 또한 학교 현장에서 학생들로부터 유사한 질문들을 많이 받게 된다는 점을 고려하면 충분히 학생들이 관측할 수 있는 현상이라고 생각할 수 있으므로 관측결과에 대한 상황만을 제시한다. 상현달은 보통 일몰시에 자오선 근처에 오게 되므로 초저녁에 남중하는데 이때는 상현달의 현이 지평선에 수직으로 똑바로 서 있게 된다. 그러나 달이 일주운동을 하여 자정 무렵에 서쪽 지평선 근처로 가게 되면 상현달의 현이 지평선과 거의 나란하게 되어 마치 상현달이 누워있는 것처럼 보인다. 이는 지구 자전으로 인하여 지표면이 회전한 결과로, 지평선의 회전을 느끼지 못하는 관측자에게는 달이

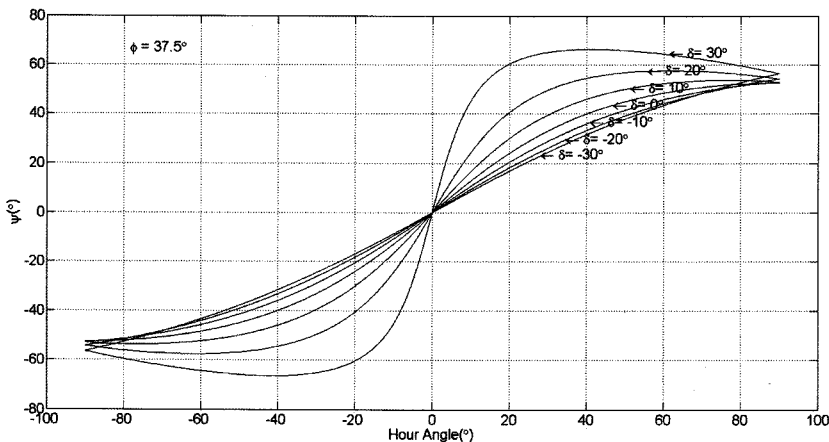
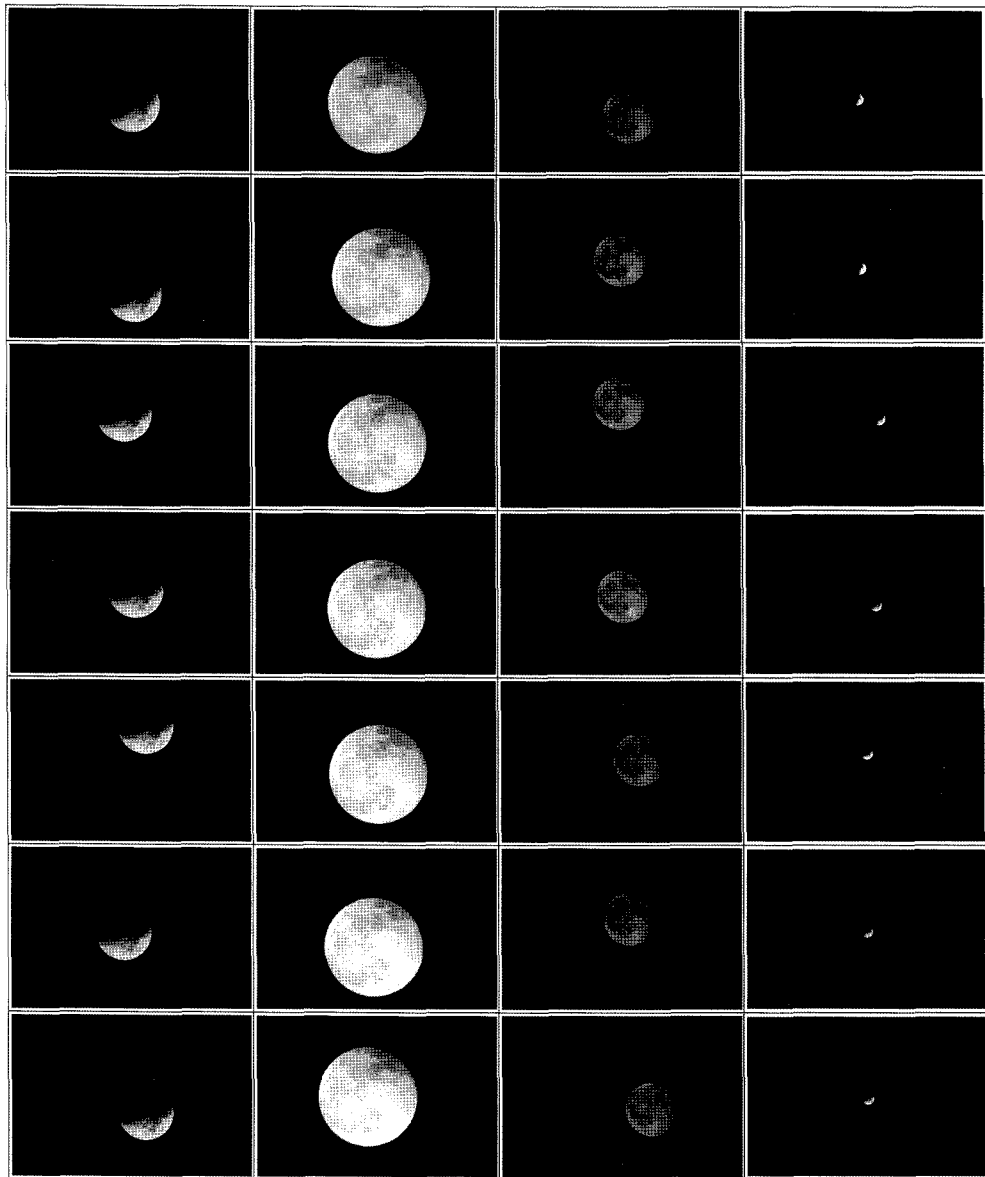


Fig. 3. Nomograph of lunar surface rotation with hour angle.



(a) (b) (c) (d)

(a)	(b)	(c)	(d)
2006,03,06 19:02:36	2006:03:14 20:15:29	2006:03:16 23:32:46	2006:04:05 19:12:01
2006,03,06 19:27:37	2006:03:14 20:30:03	2006:03:16 23:57:43	2006:04:05 19:12:25
2006,03,06 19:57:40	2006:03:14 20:45:11	2006:03:17 00:27:43	2006:04:05 20:00:39
2006,03,06 20:27:38	2006:03:14 21:15:55	2006:03:17 00:57:43	2006:04:05 20:47:57
2006,03,06 20:57:38	2006:03:14 21:45:41	2006:03:17 01:27:44	2006:04:05 21:40:38
2006,03,06 21:27:38	2006:03:14 22:03:44	2006:03:17 01:57:44	2006:04:05 22:09:00
2006,03,06 21:57:38	2006:03:14 22:29:06	2006:03:17 02:28:18	2006:04:05 22:55:37

Fig. 4. Photograph of lunar diurnal motion with respect to LCHS and ime of taking picture.

회전한 것처럼 보이는 현상이라고 할 수 있다. 이것은 Fig. 4의 (d)와 비슷한 상황인데, 실제 육안으로

관측하면 사진으로 관측한 것에 비해 월면무늬까지도 더 잘 식별할 수 있다. 이러한 현의 회전은 월면회전

현상을 육안으로 쉽게 확인할 수 있는 좋은 예이다. 그러나 육안으로 관측한 결과는 수치적으로 측정할 수 없으므로 지구 자전과의 관계를 정량적으로 파악하기가 어렵다.

사진 관측

본 연구에서는 월면회전과 지구 자전의 관계를 정량적으로 분석하기 위해서 달이 일주 운동하는 동안에 적당한 시간 간격을 두고 여러 장의 사진을 찍었다. 월면의 회전 정도를 정확히 측정해야 하므로 월면무늬가 뚜렷하게 나오게 하여야 하는데, 망원경 또는 망원렌즈를 사용하면 사진의 시야가 좁아져서 지평선과 달을 한 장의 사진에 모두 나오게 할 수 없다. 따라서 CCD칩의 가로 변이 지평선과 평행이 되도록 하여 사진의 가로변이 지평선 역할을 대신하도록 하였다.

다양한 방법으로 관측을 시도하였는데, 첫 번째로는 카메라를 경위도식 삼각대에 부착하고 직경 80 mm, 초점거리 560 mm인 망원렌즈를 사용하여 직조점 방식으로 달의 영상을 얻었다. 두 번째로는 적도 의식 마운트에 장착된 망원경을 사용하여, 사진을 찍을 때마다 카메라 몸체의 밑면을 지평면과 평행하도록 맞추기 위해서 카메라를 회전시켰다. 세 번째로는 시야가 좀 넓어지더라도 기계적인 오차를 줄이기 위해서 볼 마운트 삼각대를 사용하지 않고, 방위각과 고도의 변화를 직각방향으로 움직이게 되어있는 경위도식 삼각대를 사용하여 카메라의 줌렌즈를 이용하였다. 사용한 카메라는 캐논(Canon) EOS 350D, 니콘 쿨픽스 E995, 캐논 EOS 300D이며 월면무늬가 가장 선명하게 보일 수 있도록 노출시간을 적절하게 조절하였다.

Fig. 4는 일주운동을 하는 동안에 시간을 달리하여 촬영한 달 사진을 하루에 7장씩 선택하여 나타낸 것이다. 첫 번째 열과 세 번째 열은 같은 장비로 촬영하였으므로 시야가 같다. 관측일, 관측 장소, 달의 남중시각, 총 촬영시간은 Table 2에 정리하였다. 관측 위치의 경도 및 위도는 EST soft Corp. 알맵(버전 2.7; <http://www.almap.co.kr>)을 이용하여 얻었으며, 달의 남중시각은 역서를 참고하였다(한국천문연구원, 2006). 하루 동안 달의 일주 운동을 관측한 총 시간으로는 가장 짧은 날이 약 1시간 30분, 가장 긴 날은 약 4시간 정도이었다.

영상처리 프로그램 개발 및 월면 회전 각도 측정

망원경이나 망원렌즈를 사용하면 촬영된 달의 크기가 크므로 자와 컴퍼스를 이용한 각도로 월면회전 각도를 측정할 수 있다. 그러나 Fig. 4의 (d)열과 같이 카메라의 줌을 이용하여 촬영한 영상에 대해서는 달의 크기가 너무 작아서 각도를 하기에 불편하고 오차가 크게 발생할 가능성이 있다. 따라서 월면회전 각도를 정밀하게 측정하기 위해서 MatLab v7.1를 이용하여 영상처리 프로그램을 개발하였다. Fig. 5(a)는 개발한 프로그램으로 각도를 측정한 모습이며, 달이 작게 나온 영상에서도 $\pm 0.05^\circ$ 이내의 오차 범위로 월면회전 각도를 측정할 수 있었다(예를 들면, Fig. 5(b)). 관측한 모든 사진들에 대한 월면회전 측정 결과는 Table 3의 두 번째 열(O(PA))에 나타났다.

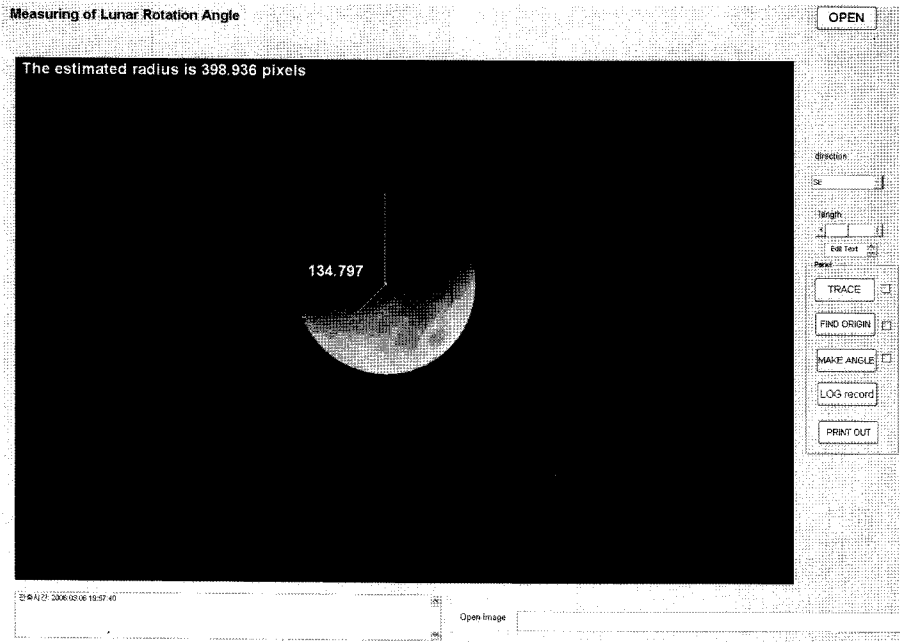
결과 및 해석

관측 결과

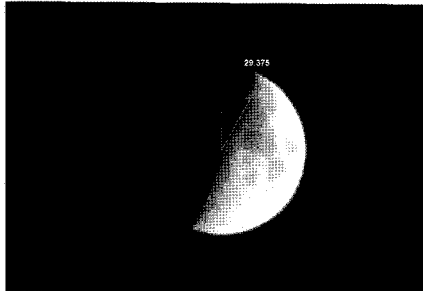
관측이 정확하게 이루어졌는지 확인하기 위해서 이론적으로 계산한 값과 관측 결과를 비교하였다. 월면회전의 각도는 식 (8)을 통해서 구할 수 있다. 이때 관측자의 위도와 달의 남중 시각은 Table 2의 값을 이용하였으며, 달의 시간각은 달의 남중시각, 달의 적경, 그리고 촬영된 시각을 이용하여 구하였다. 달의 적경과 적위는 MatLab으로 작성된 함수 moon.m을 이용하였다(Science Software, 2006). 계산한 값과 관측한 값을 Table 3에 정리하였으며 가장 왼쪽 열부터 관측시각, 관측한 월면회전 각도, 적경, 적위, 계산된 월면회전 각도, 오차의 순이다. 앞에서 언급한 관측 장비에서 발생한 기계적인 오차와 각도 측정에서 발생하는 계산 오차가 모두 포함된 표준 편차가 0.69이다. 따라서 본 연구에서 시도한 월면회전 각도에 대한 관측 값의 정밀도는 약 $\pm 0.7^\circ$ 임을 알 수 있다. Fig. 6에서는 총 4일 동안의 관측 결과(+표시)를 계산 값(---)과 함께 그래프로 나타냈다.

시간에 따른 회전각의 변화율

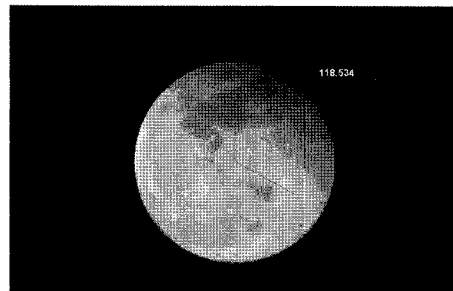
월면무늬의 회전은 지구 자전에 의해서 나타나는 현상이기는 하지만 식 (8)을 보면 알 수 있듯이 관측 시간과 관측 위치가 변함에 따라서 일정하게 변하는 것이 아니다. 지구상의 어느 지점에서 하루 약 몇 시간동안에 달의 월면회전을 관측한다고 하면 관측자의



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Measuring of various lunar rotation angles through image processing.

위도는 상수이고, 달의 평균적인 적위변화 역시 매우 작으므로 상수로 취급할 수 있다. 따라서 시간에 따른 월면회전각의 변화율을 정량적으로 구하기 위해서 식 (8)을 시간에 대해 미분을 취하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다(자세한 계산식은 부록 A-2 참조).

$$\frac{d\psi}{dH} = \frac{\cos^2\psi(\sin\delta - \cos H \cos\delta \tan\phi)}{(\cos\delta \tan\phi - \sin\delta \cos H)^2} \quad (9)$$

이것은 직각삼각형의 관계에서 $\tan\psi = A$ 이면 $\frac{1}{1+A^2}$ 이므로 다음 식과 같다.

Table 2. Log of lunar rotation observation

Date	Position (° ' ")		Transition	Observational duration
	Longitude (E)	Latitude (N)		
2006. 3. 6	127 1 12	37 45 32	2006. 3. 6. 17:53:00	2: 55: 02
2006. 3. 14	127 58 21	37 22 33	2006. 3. 15. 00:05:30	1: 27: 12
2006. 3. 16	127 1 12	37 45 32	2006. 3. 16. 02:04:30	2: 55: 32
2006. 4. 5	127 0 22	37 18 33	2006. 4. 5. 18:43:27	3: 55: 32

Table 3. Result of calculation and observation of lunar surface rotation angles

Observing time		O (PA)	RA	DEC	C(PA)	O-C
month	day hour min. sec.					
03.	06. 17:53:00	-	04:30.783	26:42.650	-	-
03.	06. 19:02:36	48.0	04:32.983	26:48.267	49.4	-1.4
03.	06. 19:27:37	56.3	04:33.983	26:50.733	55.8	0.4
03.	06. 19:57:40	60.5	04:35.167	26:53.683	60.1	0.4
03.	06. 20:27:38	62.7	04:36.350	26:56.567	62.2	0.5
03.	06. 20:57:38	63.7	04:37.550	26:59.417	63.1	0.6
03.	06. 21:27:38	63.0	04:38.733	27:02.233	63.2	-0.2
03.	06. 21:57:38	62.3	04:39.917	27:05.017	62.6	-0.3
03.	15. 00:05:30	-	11:26.017	05:04.083	-	-
03.	14. 20:01:54	-50.3	11:18.300	06:05.917	-50.5	0.2
03.	14. 20:15:29	-49.0	11:18.700	06:02.750	-49.7	0.7
03.	14. 20:30:03	-48.9	11:19.117	05:59.350	-48.6	-0.3
03.	14. 20:45:11	-47.5	11:19.567	05:55.817	-47.3	-0.2
03.	14. 20:59:36	-45.9	11:19.983	05:52.433	-45.8	-0.1
03.	14. 21:15:55	-45.5	11:20.467	05:48.633	-43.8	-1.6
03.	14. 21:32:29	-42.5	11:20.950	05:44.750	-41.5	-1.0
03.	14. 21:45:41	-38.3	11:21.333	04:41.667	-38.7	0.4
03.	14. 22:03:44	-36.2	11:21.867	04:37.450	-35.4	-0.8
03.	14. 22:17:01	-31.9	11:22.250	04:34.333	-32.6	0.7
03.	14. 22:29:06	-30.0	11:22.600	04:31.500	-29.8	-0.2
03.	17. 02:04:30	-	12:52.767	-06:41.433	-	-
03.	16. 23:32:46	-35.7	12:48.767	-06:09.667	-35.2	-0.5
03.	16. 23:57:43	-30.5	12:49.500	-06:15.583	-30.9	0.4
03.	17. 00:27:43	-24.3	12:50.400	-06:22.683	-25.0	0.7
03.	17. 00:57:43	-17.4	12:51.283	-06:29.783	-18.0	0.6
03.	17. 01:27:44	-9.9	12:52.183	-06:36.883	-10.3	0.4
03.	17. 01:57:44	-1.7	12:53.083	-06:43.967	-2.1	0.3
03.	17. 02:28:18	5.7	12:54.000	-06:51.183	6.5	-0.8
04.	05. 18:43:27	-	07:4.972	27:40.742	-	-
04.	05. 19:12:01	27.9	07:7.178	27:33.160	28.0	-0.1
04.	05. 20:00:39	51.7	07:8.437	27:27.758	53.0	-1.3
04.	05. 20:47:39	61.0	07:9.726	27:27.779	61.0	0.0
04.	05. 21:40:38	64.0	07:11.290	27:14.296	63.3	0.7
04.	05. 22:09:00	64.5	07:12.183	27:10.027	63.4	1.1
04.	05. 22:55:49	62.2	07:13.749	27:2.691	62.4	-0.2

$$\frac{d\psi}{dH} = \frac{\sin\delta - \cos H \cos\delta \tan\phi}{(\cos\delta \tan\phi - \sin\delta \cos H)^2 + \sin^2 H}$$

(단, $\delta \neq \phi$) (10)

식 (10)을 이용하여 그래프를 그려보면 Fig. 7(a)는 서울 지방(북위 37.5도)에서 여러 적위 값을 갖는 달에 대한 월면회전의 속도이며, (b)와 (c)는 적위 25.0도의 달을 서로 다른 위도에서 관측할 때 예상되는 월면회전 속도를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 7(b)

와 (c)를 보고 예상 할 수 있는 것처럼 달의 적위와 관측자의 위도가 같을 때는 달이 남중하는 순간 정확히 천정의 위치에 있게 되어 식 (10)의 식에서 분모가 0이 되므로 무한대의 속도를 갖게 된다. 따라서 식 (10)은 관측자의 위도와 달의 적위가 같을 때는 정의 되지 못한다. 이것은 경위도식 망원경에 부착된 CCD 카메라의 영상이 회전하는 현상(field rotation)*과 같은 것이다(McLean, 1997; Ghigo, 1990).

*w = $\Omega \cos Az \frac{\cos\phi}{\sin(90-h)}$, 여기서 W = 7.2925 × 10⁻⁵ rad/s로 지구 자전 각속도이다. 이 식은 좌표변환을 통하여 식 (10)과 동일함을 보일 수 있다.

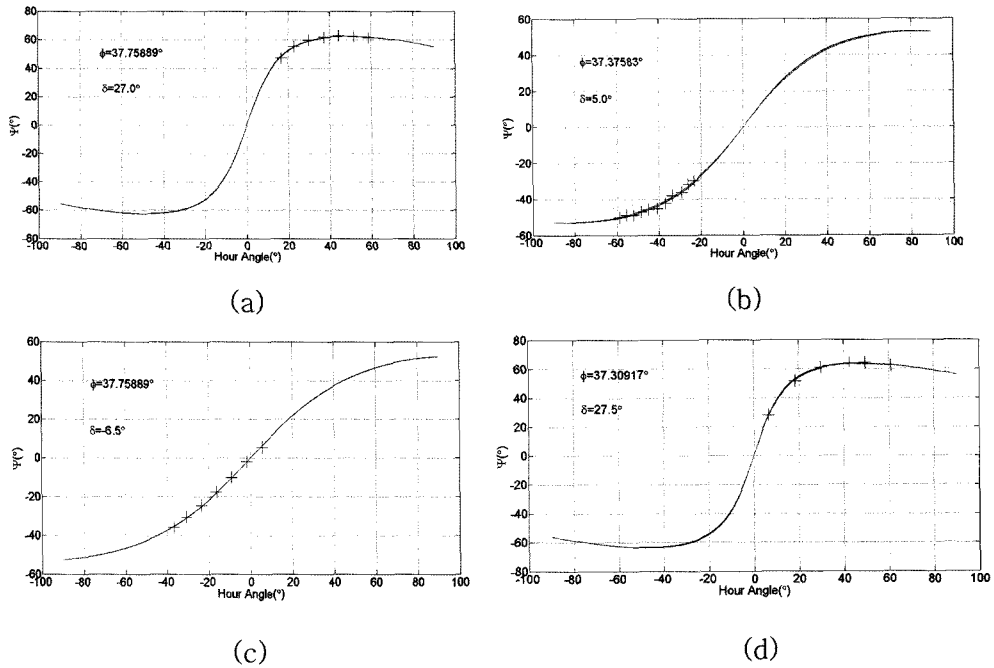


Fig. 6. Graphs of lunar rotation angles with respect to hour angles.

월면의 역회전 현상

월면의 역회전 현상에 대한 모든 원리는 식 (8)과 식 (10)에 들어 있으며 Fig. 6과 Fig. 7에서도 이 현상을 쉽게 인지할 수 있다. 그러나 여기서 그 원리를 좀 더 정량적으로 기술하고자 한다. 식 (3)에서

$$\sin \psi = \frac{\cos \phi \sin Az}{\cos \delta}$$

이므로 방위각에 대해 월면회전각의 미분을 취하면 다음 식 (11)로 표현된다(자세한 유도과정은 부록 A-3 참조).

$$\frac{d\psi}{dAz} = \left[\frac{\cos \phi \cos Az}{\cos \delta \sqrt{1 - \left(\frac{\cos \phi \cos Az}{\cos \delta}\right)^2}} \right] \quad (11)$$

이 식은 방위각 변화에 따른 월면회전각의 변화 비율을 방위각에 대한 함수로 나타낸 것인데, 이 값이 +이면 월면회전이 시계방향이고 -이면 반시계 방향이다. 이 값이 양의 값을 가지려면 좌변에서 [] 안이 -이어야 한다. 그런데 관측자의 위도 와 천구 상에 있는 모든 천체의 적위는 -90° 에서 $+90^\circ$ 사이의 값을 가지므로 $\frac{\cos \phi}{\cos \delta}$ 는 항상 +이다. 제곱근을 취

한 값은 항상 양이므로 가 -이어야만 월면회전이 시계방향이 된다. 즉 달의 방위각이 $90^\circ \sim 270^\circ$ (북반구에서 남쪽 하늘)일 때는 월면회전이 시계방향, $270^\circ \sim -90^\circ$ (북반구에서 북쪽하늘)일 때는 반시계 방향이다. 또한 회전 방향이 반대로 되기 위해서는 회전이 멈추는 순간이 반드시 있게 된다. 이것은 식 (11)의 값이 0이 되는 조건과 동일하다. 이러한 관계는 관측자의 위도(ϕ) 또는 천체의 방위각이 -90° 또는 $+90^\circ$ 이면 월면회전이 발생하지 않는다는 것을 잘 설명해 준다. 이는 극지방에 있는 관측자는 월면회전을 관측할 수 없을 것이라는 정성적인 추론과도 일치한다.

한편 지구과학 교수-학습에서는 수식을 이용한 설명뿐 아니라 정성적인 설명이 요구될 때가 많으므로 월면이 역회전하게 되는 것을 설명하기 위해서 Fig. 8과 같은 그림을 고안하였다. 그림 (a), (b), (c)에서의 핵심은 달은 천구면 상에 정지해 있고, 지평선이 회전한다는 것이다. 이 때 지평선의 회전축은 자전축과 평행하며 관측자를 지나는 직선이라는 것을 주의해야 한다.

(a)의 경우는 달의 방위각이 $+180^\circ$ 인 경우이다. 이 때는 달이 남쪽 자오선 상에 있을 때이므로 천구 상에 고정되어 있는 달을 중심으로 동쪽방향의 지평선은 반시계 방향으로 내려가고 서쪽방향의 지평선은

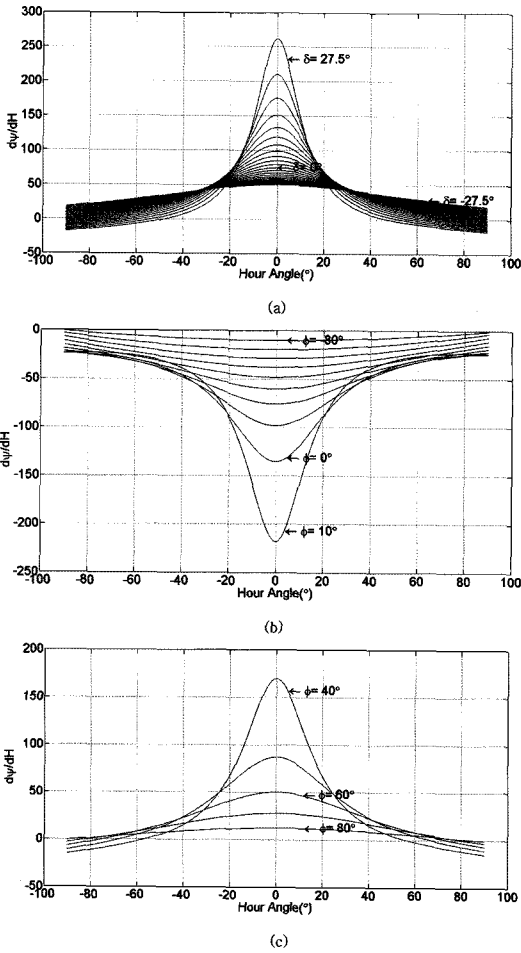


Fig. 7. Graphs of lunar rotation rate with respect to various latitudes and declinations.

반시계 방향으로 올라온다. 따라서 지구 자전에 의해 달을 지나는 수직권을 중심으로 지평선이 반시계 방향으로 회전하는데, 지평면의 회전을 느끼지 못하는 관측자는 달의 단면이 시계방향으로 회전한다고 느끼게 되는 것이다.

(b)는 달이 서점을 지나는 수직권 위에 놓여 있는 경우이며 달을 중심으로 왼쪽은 남쪽 지평선, 오른쪽은 북쪽 지평선이다. 지평면의 회전축이 관측자와 서점을 지나는 직선에 수직하게 있으므로 이때는 달을 중심으로 하는 좌우 지평선이 모두 달을 향하여 병진운동을 하는 것처럼 보이게 된다. 따라서 달에 대해서 지평선의 회전현상은 전혀 나타나지 않게 되며 결국 달이 방위각 270°인 수직권 상에 있을 때는 월면회전이 정지하게 되는 것이다. 같은 논리를 적용하면 방위각이 270° 이상인 북쪽하늘에 달이 있을 때에

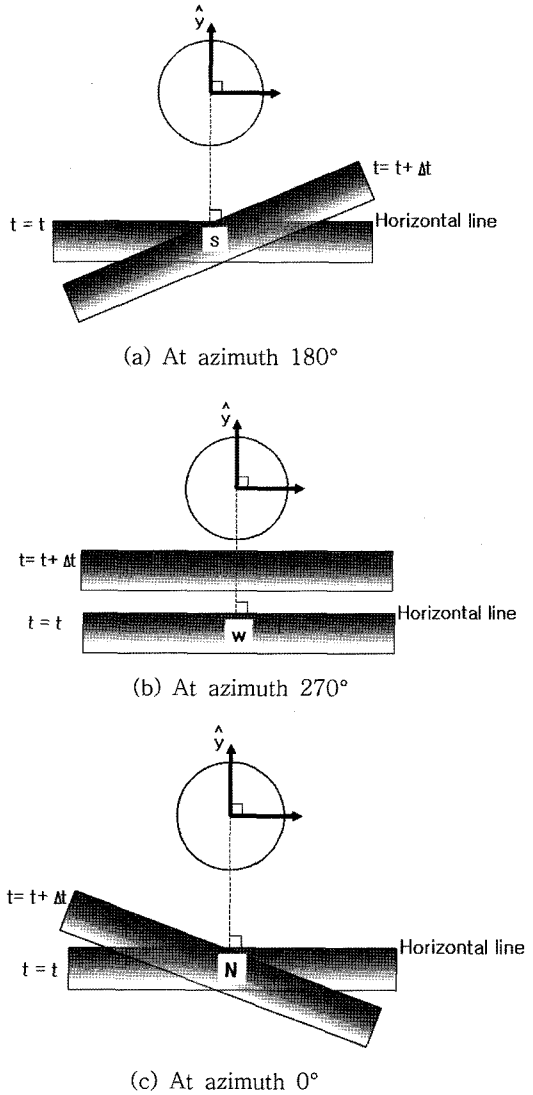


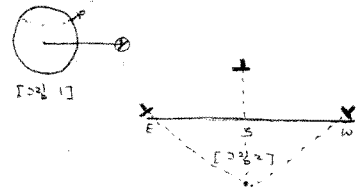
Fig. 8. Illustration of lunar reverse rotation.

는 월면회전이 반시계 방향으로 이루어진다는 것을 쉽게 이해할 수 있다(Fig. 8(c)의 예).

그러나 월면회전의 방향이 바뀌는 현상이 항상 관측되는 것은 아니다. Fig. 7(a)를 보면 알 수 있듯이 북위 37.5°에서는 달의 적위가 높을수록 월면회전 현상을 더 오랫동안 관측할 수 있다. 그러나 Fig. 7(b)에서처럼 달의 적위가 관측자의 위도보다 더 크면 역회전 현상은 일어나지 않는다. 따라서 월면의 역회전 현상을 가장 뚜렷하게 관측할 수 있는 조건은 관측자의 위도가 달의 적위보다 더 커야하며, 관측자의 위도와 달의 적위가 비슷한 값을 가지는 것이다.

Table 4. Result of application for student's inquiry activity

Student	Year	Answer		
		To question 1	To question 2	To question 3
A	2	달에 있는 무늬가 왼쪽으로 이동했다.	약 1시간 25분에 40° 정도 이동한다.	달이 오른쪽에서 오른쪽으로 자전해서.
B	2	왼쪽에서 오른쪽으로 이동	30°	달이 오른쪽에서 왼쪽으로 자전하므로.
C	2	시계방향으로 돈다.	30°	달의 자전.
D	3	동에서 서로 회전하였다.	34°	정도지구의 자전방향이 서에서 동이므로 달은 동에서 서로 회전하는 것처럼 보인다.
E	3	오른쪽으로 회전하였다.	40°가량 무늬가 돌아갔다	지구가 가만히 있지 않고 자전하기 때문에 비슷한 위치에 있는 달이 다르게 보인다.
F	3	시계방향으로 회전하며 위치가 바뀐다.	오른쪽으로 약 65° 기울었다.	달이 지구를 돌면서 자전하기 때문에.
G	3	시계방향으로 회전한다.	시계방향으로 약 40°	



달은 지구 중심과 달을 잇는 선에 의해 돌러지고 있다고 생각할 수 있다. [그림 1]
중요도에서는 달의 궤적이 오히려 그리므로 [그림 2]에서 보듯이 달은 돌아가게 된다.

적용: 탐구 활동의 실제

월면회전 현상을 지구과학 교과에서 탐구활동 주제로 실제 적용하는 데는 앞의 ‘결과 및 해석’에서 제시한 것처럼 지구자전 원인, 회전율의 시간에 따른 변화, 역회전현상 등이 가능할 것으로 생각된다. 여기에서는 지구자전을 주제로 한 탐구활동의 개발을 모색해보기로 하겠다. 학생들이 월면회전 현상을 관찰하여 지구 자전과 관련된 내용으로 유추할 수 있는지 알아보기 위한 탐구활동지를 만들었다(부록 B-1 제시). Table 1에 제시한 현행 교육과정으로 미루어 보아 월면회전 현상이 중학교 2~3학년 학생에게 적당한 소재로 판단되어 경기도 소재 중학교 2개를 임의로 선정하였다. 한 학교에서는 2학년, 다른 한 학교에서는 3학년 학생들을 무작위 추출하여 활동지를 이용하여 탐구활동을 하도록 하였다. 탐구활동지에 응답한 학생은 2학년 학생 3명, 3학년 학생 4명으로 모두 7명이다.

각 활동에 대한 반응은 Table 4에 제시한 것처럼 다양한 모습을 보여 주었다. 관찰 능력에 해당하는 질문 1번에 대한 응답은 7명중 2명이 ‘평행이동’, 5명이 ‘회전’이라고 답하였다. 이는 월면회전에 대한

현상을 인지할 수 있는 기회가 주어진다면 누구나 쉽게 그 현상을 찾아낼 수 있다는 것을 말해준다고 하겠다. 두 번째 질문은 실제로 측정 능력을 알아보고자 함인데, 7명 중 2명이 30°, 1명이 34°, 3명이 40°, 1명이 65°로 응답하였다. 바른 값은 Table 3을 통하여 41.4°라는 것을 알 수 있는데, 7명 중 3명의 학생은 매우 정밀한 측정을 하였으며 나머지 4명의 학생은 오차가 매우 큰 측정값을 얻은 것이다. 부정확한 값을 얻은 이유 중 하나는 원의 중심을 정확히 찾지 못한데 있을 것이라고 생각된다. 마지막 질문은 자연현상이 나타나는 원인을 추론할 수 있는 능력을 보고자 함인데, 7명 중 3명은 ‘지구의 자전’을 원인이라고 답하였고, 4명은 ‘달의 자전’을 원인으로 생각하였다. 제시한 탐구활동지의 자료만을 가지고는 월면회전 현상의 원인이 지구의 자전인지 달의 자전인지 제대로 추론할 수 없다. 따라서 모두 맞았다고 할 수 있는데, 단지 지구자전이라고 정확히 기술한 학생들은 선행 지식을 정확하게 인지하고 있었다라고 할 수 있다. 실제로 탐구 활동을 수행한 활동지를 부록 B-2에 수록하였다.

결론 및 논의

본 연구에서는 지구 자전에 의해서 발생하는 월면 회전 현상을 지구과학 교과 영역의 탐구요소의 하나로 개발할 수 있도록 관측과 모델을 통하여 자세히 고찰하였다. 지금까지 지구과학 교과에서 제시된 달을 소재로 한 탐구요소들은 달의 위상 변화, 달의 동주기 자전, 크레이터의 높이 측정, 달의 공전궤도 이심률 구하기 등이었다. 본 연구를 통해서 달의 관측으로 또 하나의 탐구 주제가 개발될 수 있을 것이다. 다음과 같은 몇 가지의 결론과 논의는 이러한 가능성을 뒷받침해준다.

첫째, 다양한 조건에서 월면 회전을 실제로 관측하여 계산 결과와 잘 일치함을 확인하였다. 이는 월면 회전이 지구과학 교과의 탐구 활동 소재로 개발될 수 있을 정도로 충분히 관측 가능하다는 것을 입증한 것이라고 할 수 있다.

둘째, 월면 회전 현상이 탐구 활동 형태로 제시된다면 중학교 정도의 수준에서도 대다수의 학생이 그 현상을 발견할 수 있을 정도로 좋은 탐구소재가 될 것이다.

7차 교육과정의 9학년 “(7) 태양계의 운동” 단원에서는 천체의 일주 운동을 지구의 자전 효과로 해석하도록 되어 있다(교육부 1997). 지구의 자전 효과를 언급할 때는 태양과 달의 뜨고 지는 것이 관측과 이해의 용이성 때문에 많이 소개되고 있다. 그러나 한편으로는 일출, 일몰, 천체의 일주 운동들은 너무나 당연하게 생각되는 현상이기 때문에 과학적인 탐구요소로 제시되기에는 지나치게 평범하게 여겨진다. 따라서 본 연구에서 언급한 월면 회전의 다양한 현상을 지구 자전 운동과 연관시켜 제시하면 흥미 유발과 함께 심층적인 탐구 주제가 될 수 있을 것이다. 특히 이 현상은 하루 밤 동안 몇 시간이면 충분히 확인 가능하고, 달은 인공 조명이 강한 도시의 밤하늘에서도 쉽게 관측할 수 있으므로 일선 학교 현장에서 쉽게 적용할 수 있는 탐구 활동의 주제가 될 수 있을 것이다. 또한 월면 회전 현상의 정확한 이해는 경위도식 망원경을 이용하여 태양의 흑점을 관측하는 실습을 하게 되는 경우에 그 움직임을 해석하는데도 도움이 될 것이다.

한편, 월면 회전 현상이 관측이 용이하다는 장점은

있으나 해석학적으로 이해하기에는 고등학교 수준의 수학을 사용해야 하기 때문에 실제 초, 중학교 현장에서 그대로 적용하기에는 무리가 있을 것이다. 따라서 월면 회전의 회전 속도 변화나 역회전 현상과 같은 흥미로운 주제는 본 연구에서 개발한 정성적인 설명 방법을 통하여 이해하기 쉬운 형태로 교수-학습의 자료로 개발해 나가는 것이 필요하다고 하겠다.

감사의 글

사진촬영을 도와주신 박창서, 정의완, 최상인 선생님께 감사드리며, 학생들에게 탐구활동을 적용할 수 있게 도와주신 김현정, 기양현 선생님께도 감사드립니다. 아울러 본 논문을 꼼꼼히 읽어주시고 지적해주신 익명의 심사위원님과 편집위원님들께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 공구영, 김진규, 이광만, 허동, 김택중, 정문호, 이기성, 김병국, 안태근, 김영국, 김수용, 정익현, 박병훈, 1997, 중학교 과학3 교사용 지도서. 지학사, 서울, 335 p.
- 교육인적자원부, 2001, 초등학교 교사용지도서 과학 3-2. 서울, 188 p.
- 교육부, 2000, 고등학교 교육과정 해설(6. 과학). 서울, 214 p.
- 김철희, 2005, 천문학실습. 시그마프레스, 서울, 187 p.
- 조경철 역, 2000, 실천천문학. 대광문화사, 서울, 209 p.
- 한국천문연구원, 2006, 역서. 도서출판 남산당, 서울, 185 p.
- Ghigo, F., 1990, <http://www.gb.nrao.edu/~rcreeger/GBTMetrology/140ft/10058/gbtime mo52/memo52.html>.
- Hjellming, R.M., 1983, An Introduction to the NRAO Very Large Array. NRAO, 2-18.
- McLean, I., 1997, Electronic imaging in astronomy: detectors and instrumentation. Praxis Publishing, UK, 472 p.
- Meeus, J., 1991, Astronomical algorithms. Willmann-Bell, Inc., USA, 429 p.
- Nassau, J.J., 1948, Practical astronomy. McGraw-Hill Book Company, Inc., UK, 311 p.
- Science Software, 2006, Orbital mechanics with MATLAB -Numerical methods and utility functions. Digital River, Inc., 52 p.
- Smart, W.M. and Green, R.M., 1965, Textbook on spherical astronomy. Cambridge at the University Press, UK, 430 p.

부록 A-1. 식 (7) 유도

$$\begin{aligned}
 \tan\psi &= \frac{\sin\psi}{\cos\psi} \\
 &= \frac{\sin H \cos\phi}{\cosh} \frac{\cos\delta \cosh}{(\sin\phi - \sin h \sin\delta)} \\
 &= \frac{\sin H \cos\phi \cos\delta}{\sin\phi - \sin h \sin\delta} \\
 &= \frac{\sin H \cos\phi \cos\delta}{\sin\phi - (\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos H) \sin\delta} \\
 &= \frac{\sin H \cos\phi \cos\delta}{\sin\phi - \sin^2\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos H \sin\delta} \\
 &= \frac{\sin H \cos\phi \cos\delta}{(1 - \sin^2\delta) \sin\phi - \cos\delta \cos\phi \cos H \sin\delta} \\
 &= \frac{\sin H \cos\phi \cos\delta}{\cos^2\delta \sin\phi - \cos\delta \cos\phi \cos H \sin\delta} \\
 &= \frac{\sin H \cos\phi}{\cos\delta \sin\delta - \cos\phi \cos H \sin\delta} \\
 &= \frac{\sin H}{\cos\delta \tan\phi - \sin\delta \cos H}
 \end{aligned}$$

부록 A-2. 식 (9) 유도

$\cos\delta \tan\phi - \sin\delta \cos H$ 을 M 이라고 하면,

$$\begin{aligned}
 \frac{\sin\psi}{\cos\psi} &= \frac{\sin H}{M} \\
 \left(\frac{\cos^2\psi + \sin^2\psi}{\cos^2\psi} \right) d\psi &= \frac{\cos H \times M - \sin^2 H \sin\delta}{M^2} dH \\
 \frac{d\psi}{dH} &= \frac{\cos^2\psi (-\sin\delta \sin^2 H + \cos H \cos\delta \tan\phi - \cos^2 H \sin\delta)}{M^2} \\
 &= \frac{\cos^2\psi (\sin\delta - \cos H \cos\delta \tan\phi)}{M^2} \\
 \therefore \frac{d\psi}{dH} &= \frac{\cos^2\psi (\sin\delta - \cos H \cos\delta \tan\phi)}{(\cos\delta \tan\phi - \sin\delta \cos H)^2}
 \end{aligned}$$

부록 A-3. 식 (11) 유도

$\sin\psi = \frac{\cos\phi \sin Az}{\cos\delta}$ 을 ψ 와 Az 로 미분하면

$$\cos\psi \frac{d\psi}{dAz} = \frac{\cos\phi \cos Az}{\cos\delta}$$

$$\frac{d\psi}{dAz} = \frac{\cos\phi \cos Az}{\cos\delta \cos\psi}$$

$$= \frac{\cos\phi \cos Az}{\cos\delta \sqrt{1 - \left(\frac{\cos\phi \cos Az}{\cos\delta}\right)^2}}$$

($\because \sin\psi = M$ 일 때, $\cos\psi = \sqrt{1-M^2}$)

부록 B-1. 탐구 활동지 원본

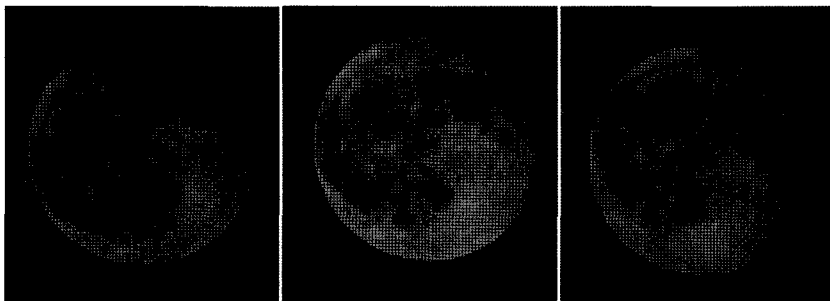
탐구 활동지

_____ 학교 _____ 학년 _____ 반 이름 _____

◆ 준비물

필기 도구, 삼각자, 컴퍼스, 각도기

사진은 2006년 3월 16일에 세 차례에 걸쳐 촬영한 보름달이다. 사진의 가로변은 모두 지면과 나란하도록 촬영되었다.



<사진A>
촬영시간: 23시 32분

<사진B>
촬영시간: 00시 57분

<사진C>
촬영시간: 02시 28분

1. 달에 있는 무늬들은 시간에 따라서 어떻게 변화하였는가?
2. <사진A>와 <사진C>의 변화된 정도를 측정하여 기록해 보자.
3. 왜 1번과 같은 변화가 나타나는지 그 이유를 적어보자.

부록 B-1. 탐구활동지 실제 활동 예

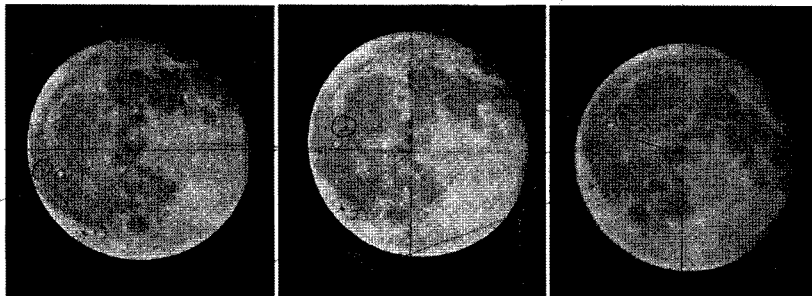
탐구 활동지

학교 _____ 3학년 _____ 반 이름 _____

◆ 준비물

필기도구, 삼각자, 컴퍼스, 각도기

사진은 2006년 3월 16일에 세 차례에 걸쳐 촬영한 보름달이다. 사진의 가로변은 모두 지면과 나란하도록 촬영되었다.



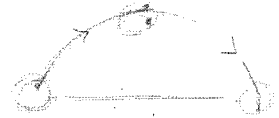
<사진A>
촬영시간: 23시 32분

<사진B>
촬영시간: 00시 57분

<사진C>
촬영시간: 02시 28분

1. 달에 있는 무늬들은 시간에 따라서 어떻게 변화하였는가?

동 → 서 회전한다.



2. <사진A>와 <사진C>의 변화된 정도를 측정하여 기록해 보자.

<사진A> 223°
<사진C> 058°

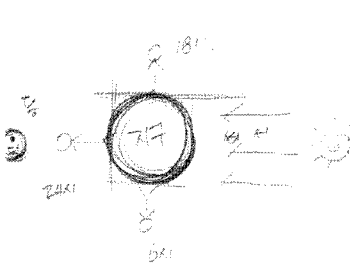
74° 정도.

2) / 3) 70°
<C> 11°

33° 정도.



3. 왜 1번과 같은 변화가 나타나는지 그 이유를 적어보자.



각도만큼 회전한다.

달은 동 → 서로 회전한다.