



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

화성 궤도를 이용한 행성의 역행운동 교육자료 개발

제주대학교 교육대학원

물리교육전공

양 용 준

2016년 2월

화성 궤도를 이용한 행성의 역행운동 교육자료 개발




지도교수 강 동 식

양 용 준

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함

2015년 12월

양용준의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 강 영 봉 
위 원 고 석 리 
위 원 강 동 식 

제주대학교 교육대학원

2015년 12월

목 차

목차	i
그림목차	iii
표목차	v
국문초록	vii
ABSTRACT	ix
I. 서론	1
II. 이론적 배경	3
1. 관찰자에 따라 달라지는 물체의 운동	3
2. 케플러 법칙	6
3. 별자리의 일주운동, 연주운동, 행성의 역행운동	7
1) 별자리의 일주운동	7
2) 별자리의 연주운동	9
3) 외행성의 운동과 관련된 용어	11
4) 외행성의 역행운동	12
4. 천구를 이용한 천체운동 분석방법	12
1) 방위각과 고도를 이용하여 구 표면상의 위치를 결정하는 방법	13
2) 천구	17
3) 적도좌표계	18
4) 적도좌표계를 이용한 별자리의 일주운동과 연주운동의 해석	21
III. 행성의 역행운동 설명방법에 관한 고찰	26
1. 2009 개정 교육과정_과학과 교육과정 및 기존 교과서에서의 역행운동	26
1) 2009 개정 교육과정_과학과 교육과정에 제시된 역행운동	26
2) 역행운동과 관련된 교과서의 학습내용	28
3) 역행운동과 학습내용에 관한 교과서 제시자료 및 설명	28
4) 교과서 설명 방식에 관한 고찰	31
IV. 연구결과	34
1. 별자리의 연주운동을 고려하여 역행운동의 정의를 설명할 수 있는 시각자료	31
2. 태양 중심 모형에서 지구에 대한 화성의 상대궤도로 역행운동을 설명하는 방법	38
1) 태양 중심 모형에서 지구에 대한 화성의 상대궤도를 구하는 기하학적 방법	38
2) 지구에 대한 화성의 상대궤도를 이용해서 역행운동을 설명하는 방법	41
3. 역행운동이 일어나는 원인을 설명하는 방식에 관한 기존 교과서와 새로운 방식의 비교	44
V. 결론	45
참고문헌	47
그림출처 표출처	48

그림 목 차

그림 1. A지점	3
그림 2. A지점과 추가정보	4
그림 3. 관찰자에 따른 운동의 상대성	5
그림 4. 태양-지구-외행성의 위치관계에 따른 용어	11
그림 5. 구 껍질 표면의 위치를 결정하기 위한 요소와 위선	13
그림 6. 구 껍질의 경선	14
그림 7. 구 껍질의 경선	14
그림 8. 구 껍질의 위선과 경선	15
그림 9. 방위각과 고도	15
그림 10. 방위각과 고도를 이용한 구 껍질상의 위치표현	16
그림 11. 3차원 좌표계와 구 표면좌표	16
그림 12. 구 표면좌표계의 회전	16
그림 13. 실제 별의 분포와 별의 천구 상 위치	17
그림 14. 천구 상 좌표를 표현하기 위한 용어	19
그림 15. 적경선과 적위선	20
그림 16. 적경과 적위를 이용한 천구 상 좌표표현	19
그림 17. 지구 중심 천구 모형	22
그림 18. 태양 중심 천구 모형	23
그림 19. 지구 자전에 의한 천구의 시운동	24
그림 20. 위도에 따른 일주운동의 형태	25
그림 21. 황도 12궁과 연주운동	25
그림 22. 화성의 시운동	29
그림 23. 역행운동의 원리	30
그림 24. 역행운동의 원리	30
그림 25. 역행운동 사진 배경의 밤하늘 상 위치	32
그림 26. 배경을 잘못 생각한 역행운동	32
그림 27. 태양을 중심으로 한 지구와 화성의 궤도	39
그림 28. 같은 날 지구와 화성을 이은 선분	39
그림 29. 그림 28에서 각 선분을 지구의 위치가 동일하게 평행 이동한 그림	40
그림 30. 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도	40
그림 31. 태양을 중심으로 한 지구와 화성의 궤도	41
그림 32. 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도	42
그림 33. ‘충’ 근처에서 역행운동이 일어나는 이유	43

표 목 차

표 1. 별자리의 일주운동	8
표 2. 별자리의 연주운동	10
표 3. 2009 개정 교육과정_과학과 교육과정 고등학교 과학 영역과 내용	26
표 4. 2009 개정 교육과정_과학과 교육과정 지구과학 I 영역과 내용 요소	27
표 5. 별자리의 연주운동을 고려한 역행운동 설명자료	35
표 6. 역행운동의 원인에 대한 설명 비교(기존 교과서와 새로운 방식)	44

화성 궤도를 이용한 행성의 역행운동 교육자료 개발

별자리의 연주운동을 고려한 외행성의 역행운동을 시각자료를 제작하였다. 자료 제작을 위해서 starry-night 프로그램으로 2088년 11월 30일부터 2089년 5월 9일까지 매일 밤 11시에 대한민국 수원에서 보이는 밤하늘의 모습을 모니터 화면에 구현하였다. 이 화면을 5일 간격으로 캡처하여 별자리의 연주운동을 고려한 외행성의 역행운동에 대한 자료를 제작하였다.

지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도를 도입하여 역행운동을 설명하는 방법을 연구하였다. 본 연구에서는 태양을 한 초점으로 하는 지구와 화성의 궤도를 원 궤도로 근사시켜 표현한 후, 이 궤도상에 15일 간격으로 지구와 화성을 표시하고 이 두 행성을 선분으로 이었다. 이 선분들을 지구가 한 점에 모이도록 평행이동 하면 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도를 구할 수 있다. 이 궤도에 나타나는 역행구간과 선분들 사이의 불규칙한 각도를 토대로 역행운동의 원리를 설명할 수 있었으며, 행성이 천구 상에서 불규칙하게 움직이는 이유도 설명할 수 있었다. 또한 이 궤도를 태양을 중심으로 한 지구와 화성의 궤도와 비교하면 외행성의 역행운동이 '충'의 시기를 전후해서 일어나는 이유를 설명할 수 있었다.

ABSTRACT

Making learning material on the retrograde motion of the planet by using the orbit of Mars

Generally, there are some limits in teaching planet's movement to student. In order to supplement these such problems, we conducted the following experiments.

We visualized the retrograde motion of the planet considering annual motion of constellations. To make the learning material, we used Starry-night program to visualize the sky of Suwon, Korea 23 o'clock from November 30th, 2088 to May 9th, 2089. After that, the visualized night skies were captured every fifth day and made a complete learning material by putting the pictures together.

We considered ways to explain the retrograde motion by adopting the orbit of Mars. In this experiment, We performed on the supposition that the orbit of the Earth and Mars is circle. In this orbit, the researcher marked the position of the Earth and Mars in fifteen-day gaps and connected these planets with segments of lines. By moving the points represented the Earth in these lines into one place, we can calculate the orbit of Mars about the Earth. According to the retrograde motion interval and the irregular angles of segments of lines, the observer can explain the reason why planets in the celestial sphere move irregularly. Also, by comparing the orbit of Mars about the Earth with about the sun, we are able to explain why retrograde motion of the superior planet occurs before and after its opposition.

I. 서 론

행성의 역행운동은 지구에 있는 관찰자가 행성의 운동을 관찰할 때, 평소에는 천구 상에서 서쪽으로 이동하는 행성이 특정 기간에 천구 상에서 동쪽으로 이동하는 현상을 말한다. 하지만 이 현상의 의미와 원리를 합리적으로 이해하기는 쉽지 않다. 몇 줄 되지 않는 정의를 이해하기 전에 천구의 개념 및 천체 운동을 이해하기 위한 용어의 개념을 명확하게 해야 하기 때문이다. 본 연구자 역시 2014년도 제주대학교 과학영재교육원 학생들에게 역행운동과 관련된 연구를 도와주기 전까지는 역행운동을 제대로 이해하지 못하고 있었다. 역행운동을 교육시키기 위해서 다양한 시행착오와 설명의 어려움을 겪은 뒤에야 역행운동의 개념을 새롭게 합리적으로 이해하게 되었다.

본 연구자는 역행운동을 교육시키기 위해서 고등학교에서 제공하는 교과서와 천체물리학 교재를 공부하였다. 기존의 교재들에 실려 있는 설명방법과 자료들은 역행운동의 개념을 잘 표현하고 있었다. 하지만 그 내용을 이해하기 위해서는 천구를 비롯한 천체물리 이론들을 잘 숙달하여 종합적인 판단이 가능해야만 했다. 특히 교과서에 제시된 자료들의 경우 학생들 내용을 잘못 이해할 수 있는 요소들도 있었다. 그 중 두 가지 요소를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 역행운동을 설명하기 위해 특정 별자리를 배경으로 하고 그 별자리에 대한 화성의 위치를 오랜 기간 촬영한 후 합성한 사진이 많이 제시된다. 그리고 이에 적합한 설명도 제시된다. 하지만 학생들의 경우 이 사진의 배경을 밤하늘의 일부가 아닌 밤하늘 전체로 착각을 하는 경우가 있었다. 이 학생들은 사진에 나온 배경 역시 지구에 있는 관찰자가 볼 때는 매일 조금씩 움직이고 있다는 사실을 고려하지 못한다. 그래서 starry-night과 같은 프로그램으로 역행운동을 구현하는 경우 나타나는 궤도 자체가 움직이는 것을 잘 받아들이지 못하고 당황한다.

둘째, 역행운동의 원리를 설명하기 위해서는 보통 태양 중심 모형에서 천구 상에 화성의 위치를 작도하는 방식을 사용하고 있다. 태양 중심 모형에서 지구와 화성의 궤도를 표시하고 ‘충’을 전후하여 지구와 화성의 위치를 표시한다. 지구와 화성에는 번호가 매겨져 있는데 같은 번호는 같은 날을 의미한다. 지구1과 화성1은 같은 날의 태양에 대한 지구와

화성의 위치다. 이 궤도와 함께 천구도 그려져 있는데, 이 천구는 지구가 어느 위치에 있든 지구에 위치한 관찰자에게는 똑같이 보이는 밤하늘의 모양이다. 같은 번호의 지구와 화성을 연결한 선분을 천구까지 연장하면 천구 상에 화성의 움직임이 나타나는데 이것으로 역행운동의 원리를 설명한다. 태양 중심 모형과 천구의 개념에 비추어 보면 잘못된 설명 방식은 아니다. 하지만 이 방식은 천구에 나타나는 역행구간을 표현하기 위해 지구와 화성을 이은 선분을 천구까지 연결할 때 약간의 조작이나 과장을 가해야 한다. 그리고 ‘충’을 전후한 화성의 천구 상 궤도만 가시화할 수 있으며, ‘겉보기 운동’이라는 용어와 함께 역행운동은 실제 운동이 아닌 가상적인 운동이라는 오개념이 발생할 수 있었다. 본 연구자는 기존 교과서나 교재에 실려 있는 자료들의 이러한 한계를 보완하고자 다음과 같은 연구를 진행하게 되었다. 이번 연구의 목적은 크게 두 가지다.

첫째로 별자리의 연주운동을 고려하여 역행운동을 생각할 수 있는 시각자료를 개발하는 것이다. 본 연구자는 천체물리학 동아리 학생들이나 영재반 학생들에게 천체현상을 시각적으로 제시하기 위해서 stary-night 프로그램 사용법을 배운 적이 있다. 이 프로그램을 이용하면 별자리의 연주운동과 화성의 운동을 동시에 생각해볼 수 있는 자료를 제작할 수 있을 것이라 생각하였다. 그리하여 이 프로그램으로 지구에 있는 관찰자가 관찰하는 역행운동상황을 구현하고 이 사진들을 캡처하여 역행운동 시각자료를 그림 혹은 동영상의 형태로 제작해 보았다.

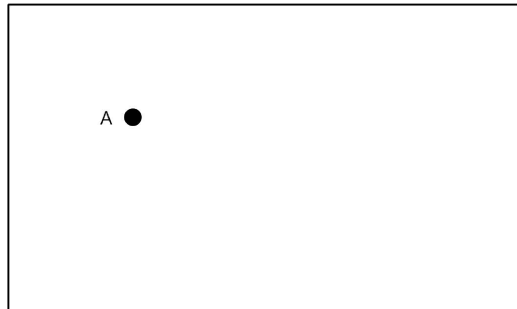
둘째로 지구에 대해서 화성이 실제로 어떻게 움직이고 있는지 그 궤도를 직접 제시하고, 이 궤도로 역행운동을 설명하는 방법을 제시하는 것이다. 지구에 대한 화성의 궤도상에 역행하는 구간이 있다면 학생들이 보다 이해하기 쉬울 것이다. 본 연구자는 2014학년도 제주대학교 과학영재교육원 중등 사사과정 학생들을 지도하는 과정에서 태양 중심 모형을 이용하여 지구에 대한 화성의 궤도를 구한 적이 있다. 그리고 역행하는 구간이 있음을 확인하였다. 이번 연구에서는 지구에 대한 화성의 궤도를 구할 수 있는 방법을 소개하고, 이 방법으로 구한 궤도를 이용하여 기존의 역행운동 설명 방식을 어떻게 대체할 수 있는지를 연구하였다.

지금부터 연구와 관련된 이론적 배경을 비롯하여, 기존 교과서에 대한 분석 및 연구를 통해 개발한 역행운동 시각자료와 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도를 이용한 역행운동 설명방식을 설명하도록 하겠다.

II. 이론적 배경

1. 관찰자에 따라 달라지는 물체의 운동

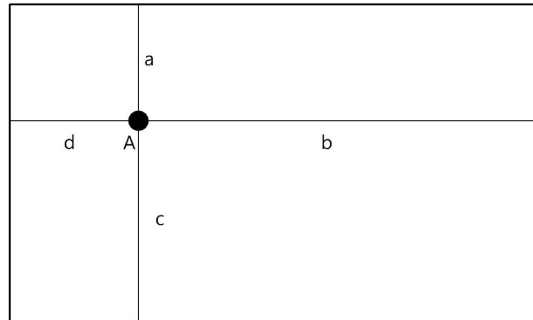
물리에서 물체의 운동은 보통 물체의 위치가 시간에 따라 어떻게 바뀌는가를 나타내내는 위치의 시간에 대한 함수를 의미한다. 그런데 위치를 표현하기 위해서는 위치의 기준점이 있어야 한다. 이유는 같은 지점에 있는 물체라고 하더라도 기준점에 따라 위치에 대한 표현이 바뀔 수 있기 때문이다(Halliday, Resnick, Walker, 2006). 위치를 표현하는 데에 기준점 필요한 이유는 [그림 1]에서 A 지점의 위치를 표현해 보면 알 수 있다.



[그림 1] A 지점.

A의 위치를 말할 수 있는 사람이라면 필히 그림의 어떤 지점을 기준으로 잡을 것이다. 예를 들면 ‘배경이 되는 사각형의 왼쪽 위 꼭짓점에 대하여 오른쪽 아래 있다’라고 표현할 수 있다. 하지만 이 역시 오른쪽 아래에 해당되는 점이 너무 많기 때문에 위치를 정확하게 나타내었다고 할 수는 없다. 위치를 기술하는 방법에 대하여 알고 있는 사람이라면 아마 [그림 1]에는 위치를 나타내기 위한 정보가 부족하기 때문에 추가적인 정보를 더 제시해 달라고 할 것이다. 예를 들면 A라는 점에서 배경이 되는 사각형의 각 선분들까지의 거리 등을 말해달라고 할

수 있다. 이유는 위치는 벡터로서 기준점에 대한 거리와 방향으로 표현되기 때문이다. [그림 2]에서와 같이 A라는 점에 대한 추가적인 정보가 주어지면 A의 위치는 추가 정보를 이용해서 표현할 수 있다.

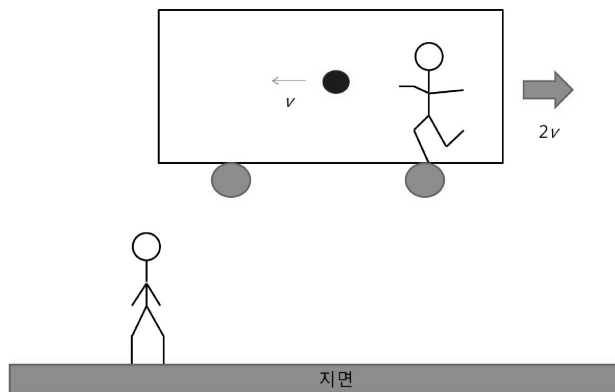


[그림 2] A 지점과 추가정보.

배경이 되는 사각형의 왼쪽 위 꼭짓점에 대해서는 오른쪽으로 d, 아래로 a만큼 떨어진 위치, 오른쪽 아래 꼭짓점에 대해서는 왼쪽으로 b, 위로 c 만큼 떨어진 위치 등으로 표현할 수 있다. 어떤 지점의 위치를 표현하기 위해서는 기준점을 잡고 그 기준점에 대한 거리와 방향을 제시하면 그 위치를 찾을 수 있기 때문이다. 중요한 점은 A 라는 한 지점의 위치가 기준점에 대하여 다르게 표현된다는 것이다. 왼쪽 위 꼭짓점에 대한 A의 위치와 오른쪽 아래 꼭짓점에 대한 A의 위치는 다르다. 하지만 A는 같은 점이다. 즉 동일한 지점에 대한 위치 표현이 기준점에 따라 다르게 표현된다. 또한 A라는 위치를 기술하기 위해 도입한 기준점이 움직이고 있는지 정지하고 있는지는 중요하지 않다. A가 기준점에 대해 어떤 거리와 방향을 가지고 있는지가 중요하다. 사실상 고정된 기준점은 잡으려고 해도 잡을 수가 없다. 내가 내 앞에 놓여있는 노트북의 위치를 기술하기 위해서 지면에 고정된 나를 기준으로 내 앞 20 cm 위치에 노트북이 놓여 있다고 말하였을 때 기준이 되는 나 역시 정지해 있다고 볼 수는 없다. 나 스스로 내 감각기관의 한 계로 인해 내가 정지해 있다고 느낄 뿐 사실은 지구와 함께 자전하고 태양 주변을 공전하고 우리은하 중심에 대해서 상대적인 운동을 하고 있기 때문이다. 여기서 운동의 상대적인 특성이 나타난다. 운동은 위치의 시간의 함수를 나타내는데, 한 운동을 나타낼 때 기술되는 물체의 위치의 변화가 기준점에 의존하기 때문에

기준점의 선정에 따라 동일한 운동이라도 다르게 관찰될 수 있다는 특성이다. 사실상 절대적인 운동을 표현하기 위한 절대적인 기준점을 잡을 수 있다는 주장은 현재에는 큰 설득력이 없다. 따라서 어떤 물체의 참된 운동이 무엇인지 밝히는 것은 의미가 없고, 어떤 기준점에 대해서는 물체가 어떤 운동을 하고 있는지, 또한 한 기준점에서 바라본 물체의 운동이 다른 기준점에서는 어떤 운동으로 보일 수 있는지 알 수 있는 방법이 더욱 중요하다.

한 물체의 동일한 운동이 관찰자에 따라 어떻게 다르게 관찰될 수 있는지는 다음의 예를 통하여 확인할 수 있다. [그림 3]은 지면에 대해 왼쪽으로 $2v$ 의 속력으로 달리는 버스 안에 있는 사람이 버스 안에서 뒤쪽으로 공을 던지는 상황이며 버스 바깥쪽 길가에 서있는 사람도 이 장면을 바라보고 있는 상황이다. 버스 안에 있던 사람은 자신을 기준으로 v 속력으로 공을 던진다.



[그림 3] 관찰자에 따른 운동의 상대성.

버스는 사실상 절대적인 기준점에 대해서 어떻게 움직이는지는 알 수 없다. 하지만 분명 그림에 주어진 지면에 대해서는 $2v$ 로 움직이고 있다. 버스 안에 있는 사람은 버스와 함께 움직이고 있으므로 지면에 대해서 역시 $2v$ 로 움직이고 있으며 공 역시 던져지기 전까지는 지면에 대해서 $2v$ 의 속력으로 움직이고 있었을 것이다. 이제 이 공의 위치에 대해서 먼저 고찰해 보자. 앞에서 말한 것과 같이 이 공의 위치를 논하기 위해서는 기준점이 필요하다. 기준점으로 정할 수 있는 요소가 많이 있지만 이 중에서 버스 안에 타고 있는 관찰자와 지면 위에서 서 있는 관찰자를 기준으로 한 위치만 고려해도 운동의 상대성을 확인할 수 있다. 먼

저 버스 안에 타고 있는 관찰자에 대해서 공의 위치는 왼쪽으로 v 의 속력으로 시간에 따라 멀어진다. 그러나 지면 위의 관찰자에 대해서는 공이 버스의 왼쪽 벽에 충돌하기 전까지 오른쪽으로 v 의 속력으로 시간에 따라 멀어질 것이다. 그렇다면 이 물체의 운동에 관하여 어느 관찰자가 관찰한 운동이 맞는 것인지의 문제가 발생한다. 분명 공의 운동은 한가지다. 공은 어떤 공간에서 묵묵히 운동하고 있을 뿐인데 그 운동을 바라보는 사람에 따라 공의 운동 즉 공의 위치에 대한 시간의 함수가 달라진다. 그런데 공의 위치를 우주공간에서 절대적으로 정할 수 있는 절대적인 기준점이 없기 때문에 공의 실제 운동을 표현할 절대적 기준점에 대한 운동을 찾고자 노력하는 것은 무의미하다. 물체의 진정한 운동이 존재하는 것이 아니라 우리가 택한 기준점에 대한 운동이 존재할 뿐이다. 우리는 기준점에 따른 다양한 운동의 표현방식 중에서 우리에게 의미가 있는 운동을 택하면 된다. [그림 3]의 상황에서 버스안의 관찰자를 기준으로 한 공의 운동은 왼쪽으로 v 의 속력으로 멀어지는 운동이고, 지면 위의 관찰자를 기준으로 한 공의 운동은 오른쪽으로 v 의 속력으로 멀어지는 운동이다. 다만 이 경우 운동의 표현이 달라졌다고 해서 공의 실제 운동이 바뀐 것은 아니다. 동일한 운동에 대한 표현과 방정식만 관찰자에 따라 달라진 것이다. 우리에게 의미가 있는 것은 상황에 따라 필요한 기준점과 그에 따른 운동을 적절히 정하는 것이며, 한 기준점에서 바라본 운동을 다른 기준점에서 바라보았을 때 어떻게 보이는지를 알 수 있는 방법을 찾아내는 것이라고 할 수 있다.

2. 케플러 법칙

케플러 법칙이 확립되기 이전의 천체물리학은 주로 밤하늘을 관측하는 천문학자들에 의해 발전하였다. 그 중 티코 브라헤(Brahe, T. 1546~1601)는 20년이 넘는 기간 동안 밤하늘을 관찰하고 기록하였다. 그 이후 브라헤의 제자인 요하네스 케플러(Kepler, J. 1571~1630)는 티코 브라헤가 남긴 방대한 양의 관측 자료를 분석하여 지구에 있는 관찰자가 바라본 행성의 운동에 몇 가지 규칙성이 있음을 발견하

였다. 케플러가 관측 자료를 토대로 정리한 행성 운동의 규칙성을 케플러 법칙이라고 하며 3개의 법칙이 있고 그 내용은 아래와 같다.(김희준 등 9명 2011)

1) 케플러 제 1법칙(타원궤도 법칙)

태양계 행성은 태양을 한 초점으로 하여 타원궤도로 운동한다.

2) 케플러 제 2법칙(면적속도 일정 법칙)

행성이 태양 주위를 공전할 때 같은 시간동안 태양과 행성을 이은 선분이 이동하는 면적은 같다.

3) 케플러 제 3법칙(조화법칙)

행성의 공전주기의 제곱은 공전궤도의 장반경의 세제곱에 비례한다.

3. 별자리의 일주운동, 별자리의 연주운동, 행성의 역행운동

별자리의 운동은 육안으로 관찰되는 별자리들의 시간에 따른 위치의 변화를 나타낸다. 앞으로 설명할 별자리의 일주운동, 연주운동, 행성의 역행운동은 지구에 있는 관찰자에 관한 천체들의 운동이다.

1) 별자리의 일주운동

별자리의 일주운동이란 지표면에 서 있는 관찰자가 하늘을 관찰할 때 하늘에 있는 별자리들이 밤하늘에 있는 어떤 점을 중심으로 하루에 한 바퀴씩 이동하는 운동을 말한다. 북반구에서는 북극성을 중심으로 모든 별자리들이 회전하는 것으로 관찰된다(박석재 2003). 실제 사진을 보여주면서 설명하면 좋으나 관측시기의 한계로 인하여 여기에서는 starry-night 이라는 프로그램으로 구현한 화면을 캡처한 그림으로 설명을 할 것이다. [표 1]에 제시된 그림들은 프로그램에서 관찰 장소를 대한민국의 수원으로 설정하고 시간은 2015년 11월 24일 오후7시부터 2시간 간격으로 다음날 오전 7시까지 변환시킬 때 보이는 하늘의 모습을 나타낸 것이다.

[표 1] 별자리의 일주운동.



2015년 11월 24일 19시



2015년 11월 24일 21시



2015년 11월 24일 23시



2015년 11월 25일 01시



2015년 11월 25일 03시



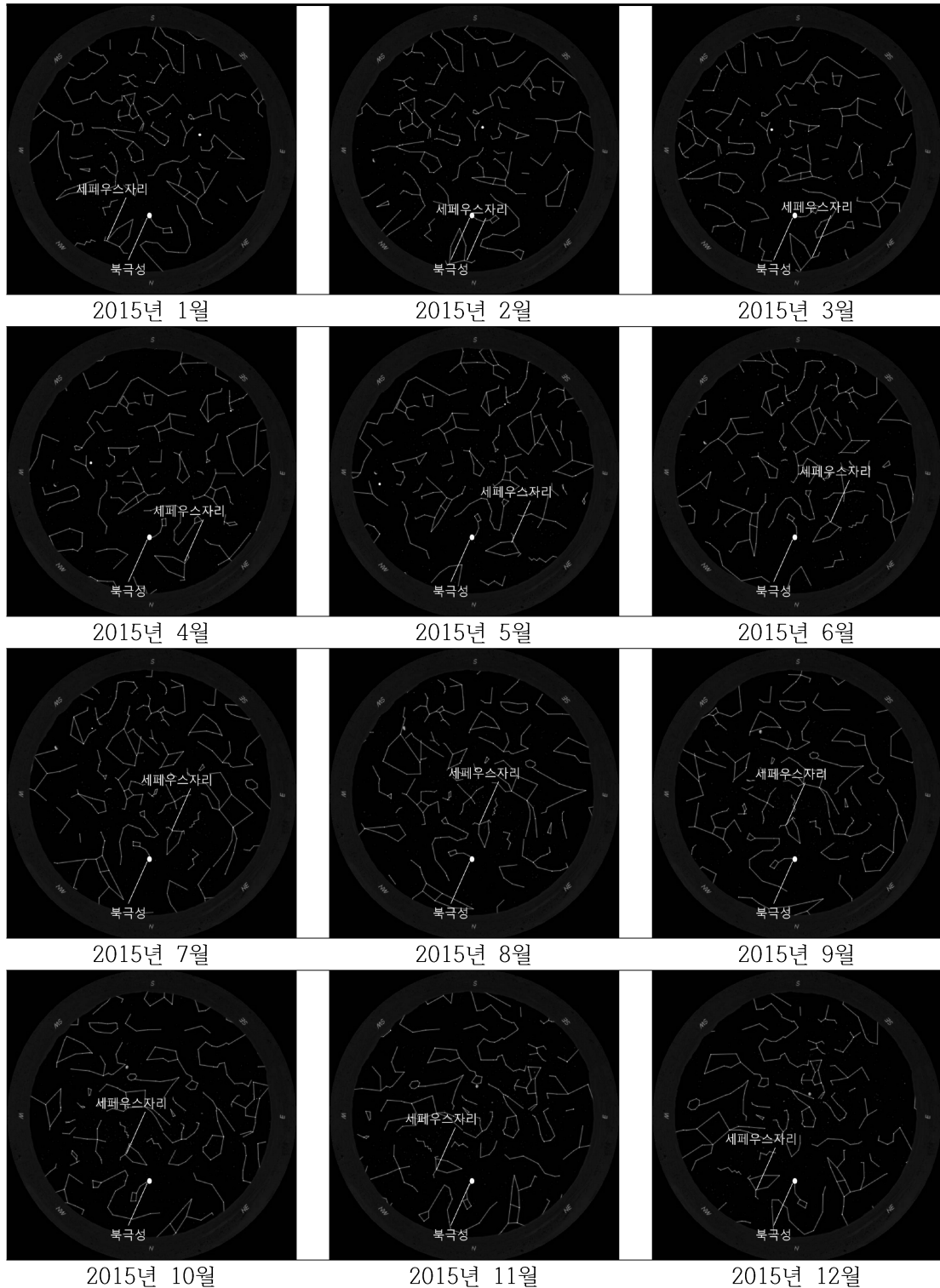
2015년 11월 25일 05시

[표 1]에 제시된 그림들을 보면 밤하늘에서 북극성은 시간이 지남에 따라 위치가 바뀌지 않지만 다른 별자리들은 북극성을 중심으로 회전하고 있음을 알 수 있다. 이처럼 별의 일주운동이란 우리가 별자리를 볼 때 하루 동안 별이 어떻게 움직이는지를 표현한 운동이며, 북반구에서는 북극성을 중심으로, 남반구에서는 남십자성을 중심으로 다른 별자리들이 하루에 한 바퀴씩 회전하는 운동을 말한다(박석재 2003).

2) 별자리의 연주운동

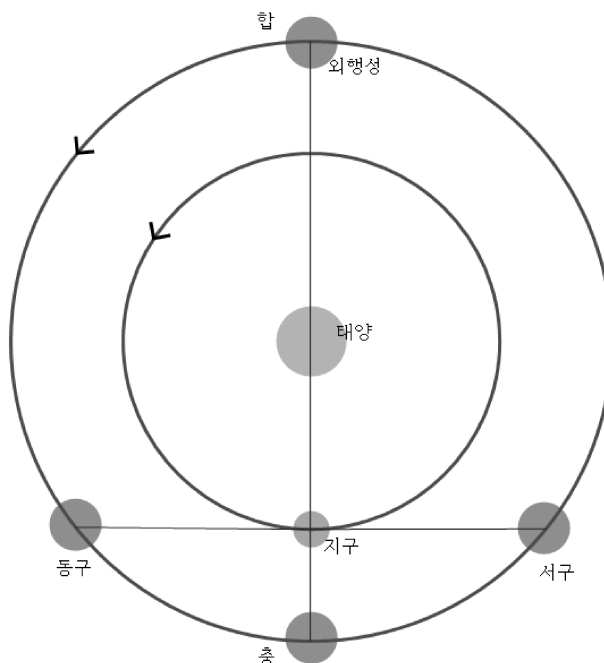
별자리의 연주운동은 별자리를 매일 같은 시간 같은 장소에서 관찰할 때 관찰자에게 보이는 별자리의 위치의 시간에 따른 변화를 나타낸다(박석재 2003). 일주운동에 따라 별자리는 하루에 북극성을 중심으로 한 바퀴씩 회전을 하므로 특정 시각에 관찰한 별자리를 다음날 같은 시간에 관찰하면 바로 그 자리에 있는 것처럼 보인다. 하지만 사실상 그 별자리는 전날 관찰할 때 있었던 위치에서 대략 1° 정도 서쪽으로 이동한 것이다. 하루 동안 이동한 거리가 매우 작기 때문에 우리 눈에 움직이지 않는 것으로 보일 뿐이다. 하지만 하루에 1° 씩이라도 움직이고 있기 때문에 시간이 많이 지난 후 같은 시각에 그 별자리를 바라본다면 그 위치에 있지 않다. 하지만 일 년 후 같은 시각에 그 별자리를 관찰한다면 거의 같은 위치에서 관찰이 된다. 별자리의 연주운동이란 매일 같은 시각 같은 장소에서 관찰하였을 때 보이는 별자리들의 위치의 시간에 따른 변화를 말한다. 지구에 있는 관찰자가 관찰하였을 때 매일 같은 시간 같은 장소에서 별자리를 관찰하면 별자리들이 하루에 대략 1° 정도씩 움직여 북극성이나 남십자성을 중심으로 1년에 한 바퀴 회전한다. [표 2]에 제시된 그림은 starry-night 프로그램을 이용하여 관찰지점을 대한민국 수원으로 설정하고 2015년 1월 24일 밤 11시부터 한 달 간격으로 같은 시각에 관찰한 밤하늘의 모습을 나타낸 것이다. [표 2]에 제시된 그림에서 시간이 지남에 따라 별자리들이 북극성을 중심으로 조금씩 회전하여 1년 후에는 거의 비슷한 위치에 있음을 확인할 수 있다. 여기서 주의해야 할 점은 관찰하는 시간이 모두 같다는 것이다. 아래의 그림이 있는 각각의 날 다른 시간에는 일주운동에 의해서 밤하늘의 별의 위치가 달라진다.

[표 2] 별자리의 연주운동.



3) 외행성의 운동과 관련된 용어

수성부터 해왕성까지 태양을 한 초점으로 하여 공전을 하고 있는 행성은 8개이다. 명왕성은 예전에는 태양을 초점으로 공전하는 행성으로 분류되었으나 지금은 제외되었다. 그 중 수성과 금성의 궤도는 지구 안쪽에 있고 다른 5개의 행성은 지구보다 바깥쪽 궤도에서 공전하고 있는데 지구보다 바깥 궤도를 돌고 있는 화성, 목성, 토성, 천왕성, 해왕성을 외행성이라고 한다. 태양계에서 지구와 다른 외행성들의 공전주기가 다르기 때문에 태양과 지구와 외행성의 위치관계는 지속적으로 변한다. 그 중에서 외행성의 운동을 기술하기 위한 기준을 정하기 위해서 태양과 지구와 외행성의 몇 가지 위치관계에 대한 용어를 정의한다. 지구에서 바라보았을 때 외행성이 태양과 같은 방향에 있게 되는 위치관계를 ‘합’이라고 한다. 그리고 태양과 반대방향에 있게 되는 위치관계를 ‘충’이라고 한다. ‘충’일 때 외행성과 지구의 거리가 가장 가깝게 된다(박석재 2003). 그리고 태양과 지구와 외행성이 이루는 각도가 직각인 경우가 2가지 있는데 ‘충’에 도달하기 이전에 직각을 이루는 경우 ‘동구’ ‘충’에 도달한 이후 직각을 이루는 경우를 ‘서구’라 한다.(이태욱 등 8명 2011). [그림 4]에 이러한 위치관계가 잘 표현되어 있다.



[그림 4] 태양-지구-외행성의 위치관계에 따른 용어.

4) 외행성의 역행운동

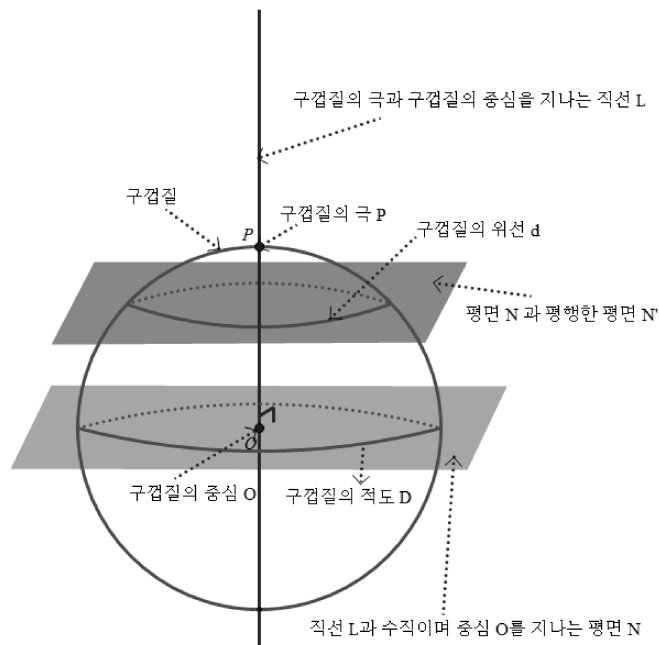
밤하늘에 보이는 대부분의 별들은 연주운동을 하는데 북극성을 중심으로 하는 연주운동의 각속도가 전부 동일하므로 별자리는 시간에 따라 흩어지지 않고 그 형태를 그대로 유지한다. 마치 별자리들이 그려져 있는 어떤 배경의 한 지점을 북극성으로 고정시키고 나머지 부분이 회전하는 형태로 관찰된다. 그런데 밤하늘을 관찰하다보면 대부분의 별자리들의 연주운동과는 다르게 움직이는 천체들이 있다(이태욱 등 8명 2011). 이 천체들은 태양 주위를 공전하는 행성들이다. 이 행성들은 매일 같은 시간에 밤하늘을 관찰할 때 다른 별자리의 움직임과는 달리 어떤 날은 조금 큰 각도로, 어떤 날은 작은 각도로, 가끔씩은 원래 움직이던 방향과 반대로 움직이기도 한다. 이 때문에 행성들은 우리 눈으로 보았을 때 우리 눈에 보이는 밤하늘이라는 배경에 대해서도 매일 동쪽으로 조금씩 움직이기도 하지만 별자리들이 그려져 있는 배경에 대해서도 상대적인 운동을 한다. 이 상대적인 운동은 별자리들이 그려져 있는 배경을 기준으로 한 화성의 움직임이므로 기준점이 움직인다는 사실을 고려해야 한다. 별자리의 연주운동을 고려하면서 어느 한 특정 별자리에 대한 화성의 움직임을 매일 같은 시간에 관찰하다보면 가끔 평소와는 다른 움직임이 보인다. 대체로 행성들은 별자리에 대해서 매일 동쪽으로 움직이고 있는데 어떤 시기가 되면 날마다 서쪽으로 움직이다가 다시 동쪽으로 움직인다. 이 때 한 별자리에 대해서 행성이 동쪽으로 움직이는 경우의 행성의 운동을 순행, 서쪽으로 움직이는 경우의 행성의 운동을 역행이라고 한다.(이태욱 등 8명 2011) 즉 행성의 역행운동이란 우리 눈으로 행성을 관찰할 때 우리 눈에 매일 조금씩 움직이는 한 별자리에 대한 행성의 상대적인 운동의 방향이 평소와는 반대로 되는 운동이라고 할 수 있다.

4. 천구를 이용한 천체운동 분석방법

천구는 지표면상의 관찰자가 밤하늘을 관찰함에 있어 어느 시각에 어느 방향을 바라보면 관찰하고자 하는 천체를 찾을 수 있는지 예측하기 위하여 도입한 가상의 구 껍질이다(박석재 2003).

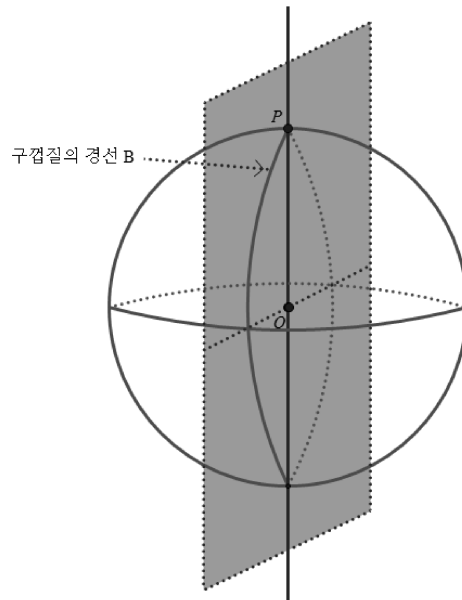
1) 방위각과 고도를 이용하여 구 표면상의 위치를 결정하는 방법

아무런 정보도 없는 구 껍질의 경우에는 구 껍질의 중심(O)을 제외하고는 구 표면의 기준이 될 수 있는 어떤 것도 없다. 구 껍질의 모든 부분과 중심 사이의 거리는 동일하고 각도를 정의하기 위해서는 각도의 시작점이 있어야 하기 때문에 구 껍질 상의 어느 지점에 대한 위치를 정의하기 위해서는 중심에 대한 상대적 위치를 표시할 수 있는 다른 기준점들이 필요하다. 그래서 구 껍질의 다른 부분의 위치를 정할 기준이 필요하다. 여기서는 구 껍질 위의 임의의 한 점을 잡고 그 점과 중심점을 기준으로 정할 것이다. 그리고 이렇게 기준이 될 수 있는 구 껍질의 한 점을 구 껍질의 극(P)이라고 정의한다. 아래 그림에서는 윗부분의 점을 극으로 잡았다. 이제 이 구 껍질에 해당되는 여러 용어를 구 껍질의 중심과 이 극을 기준으로 정의한다. [그림 5]에서와 같이 먼저 극과 구 껍질의 중심을 지나는 직선(L)에 수직하면서 구 껍질의 중심을 지나는 평면(N)과 이 구 껍질이 만나 이루는 큰 원을 이 구 껍질의 적도(D)라고 정의하자. 그리고 구 껍질을 이 큰 평면과 평행한 평면(N')들이 이 구 껍질을 만나 이루는 다른 원들은 위선(d)이라고 정의한다.

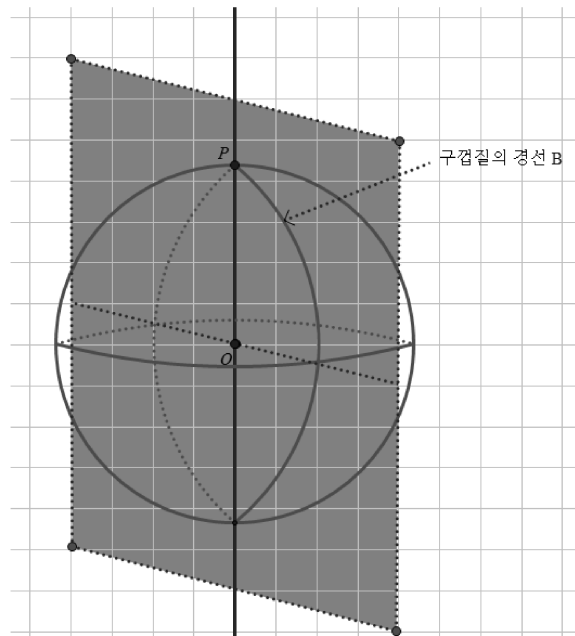


[그림 5] 구 껍질 표면의 위치를 결정하기 위한 요소와 위선.

그리고 [그림 6]과 [그림 7]에서 처럼 구 껍질의 극과 구 껍질의 중심을 지나
는 임의의 평면(M)이 구 껍질을 만나면 원들이 생기는데 이 원들은 구 껍질의
경선(B)이라고 정의한다.

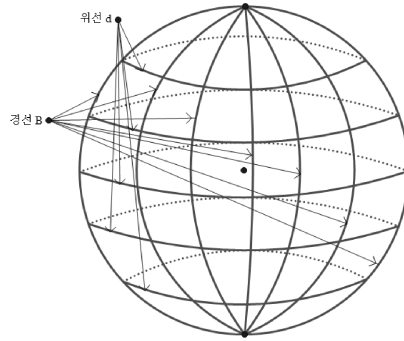


[그림 6] 구 껍질의 경선.



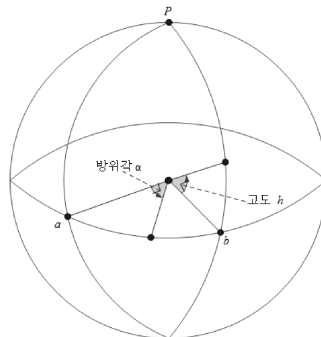
[그림 7] 구 껍질의 경선.

이러한 방법을 사용하면 구 껍질의 표면을 [그림 8]과 같이 경선과 위선들로 구분할 수 있게 된다. 각 위선들은 아래 위선과 평행하지만 각 경선들은 다른 경선들과 평행하지 않고 극과 중심을 잇는 선을 축으로 하여 어떤 각도를 이루어 배치되어 있다.



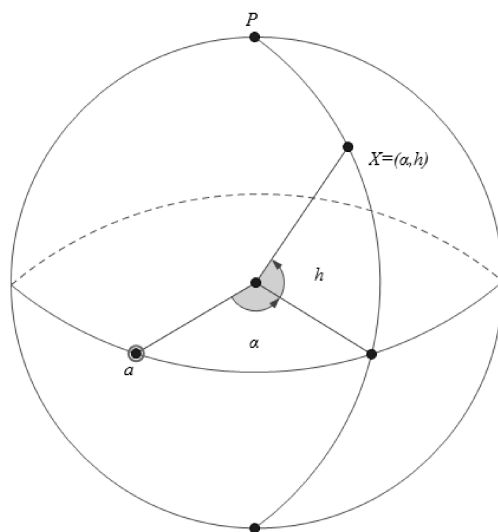
[그림 8] 구 껍질의 위선과 경선.

이 위선들과 경선들을 잘 활용하면 구 표면상의 특정 위치를 중심과 각 선들에 대하여 나타낼 수 있다. 그 방법 중의 하나가 방위각(α)과 고도(h)를 활용한 표현방법이다. [그림 9]에 나타나 있는 것과 같이 방위각은 구 껍질의 적도상에 어느 한 점 a 를 기준으로 잡고 구 껍질의 중심과 a 점을 이은 선분을 시작으로 극위에서 바라보았을 때 반시계방향으로 측정하는 각도를 말한다. 고도는 구 껍질의 적도상의 한 점 b 와 구 껍질의 중심을 지나는 선분을 시작으로 점 b 를 포함하는 경선을 따라 측정한 각도이다(박석재 2003). 이때 적도 아래쪽으로 측정한 각도에는 (-)값을, 적도 위쪽으로 측정한 각도에는 (+)값을 부여한다.

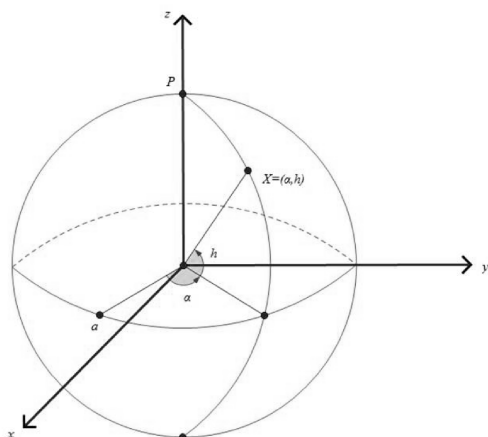


[그림 9] 방위각과 고도.

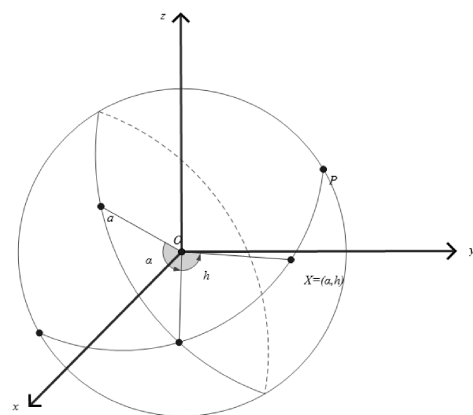
같은 위선 상에 있는 점들은 같은 고도를 가지게 되며, 같은 경선 상에 있는 점들은 방위 같은 방위각을 가지게 된다. 이 방법을 이용하면 구 껍질 위에 있는 모든 점들은 구 껍질의 중심(O)과 구 껍질의 극(P), 적도위에 방위각의 기준점으로 잡은 점(α)에 관하여 각기 다른 상대적 위치를 가지게 된다. [그림 10]에서처럼 구 껍질 상의 임의의 위치는 방위각과 고도로 표현이 된다. 그리고 이 구 껍질 전체의 위치가 시간에 따라 변한다고 해도 각각의 점들의 O, P, α 점에 관한 상대적인 위치는 [그림 11], [그림 12]에서처럼 변하지 않을 것이다.



[그림 10] 방위각과 고도를 이용한 구 껍질상의 위치표현.



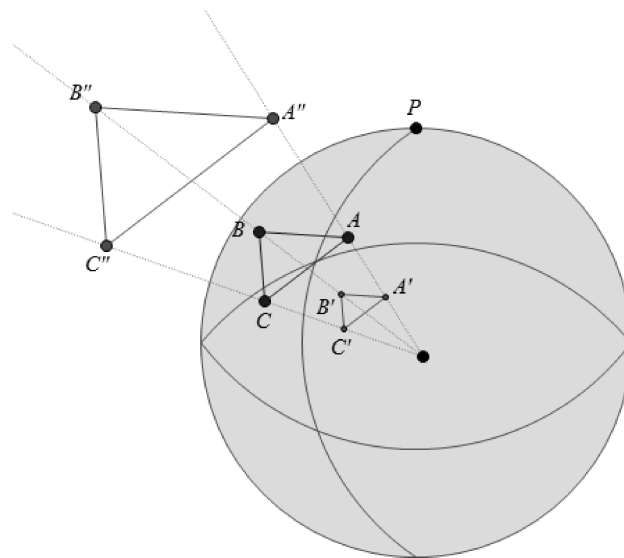
[그림 11] 3차원 좌표계와 구 표면좌표.



[그림 12] 구 표면좌표계의 회전.

2) 천구

일주운동과 연주운동을 하는 별자리들을 관찰하다보면 별자리들이 마치 어떤 거대한 구 껍질 위에 붙어 있는 듯 한 느낌을 받는다. 지구에 대한 별들의 공간적 분포를 생각하면 별자리들을 이루는 각각의 별들은 지구로부터 같은 거리에 있지 않기 때문에 거대한 구 껍질 상에 별자리의 모든 별이 붙어 있다는 생각은 실제 우주의 모습과는 맞지 않다. 하지만 우리의 눈이라는 감각기관의 한계로 인하여 우리에게 매우 멀리 떨어져 있는 물체들의 경우에는 물체들 간 거리비교가 되지 않는다. 우리는 별자리들을 이루고 있는 각각의 별들이 지구로부터 얼마만큼 떨어져 있는지 구분하지 못하기 때문에 우리 눈에 보이는 별자리들이나 천체는 마치 같은 거리에 있는 것처럼 보인다. [그림 13]에서에서 각각의 점들이 구 껍질의 중심에서 매우 멀리 떨어져 있다면 방위각과 고도가 같은 점 A' 과 A'' 은 구 껍질의 중심에 있는 관찰자에게는 같은 방향에서 관찰됨과 동시에 A 점이 위치한 거리정도에 있는 것으로 보일 것이다. 즉 실제로 별들이 A'' , B' , C 위치에 있다고 할지라도 관찰자에게는 A , B , C 위치에 있는 것으로만 느껴지게 된다.



[그림 13] 실제 별의 분포와 별의 천구 상 위치.

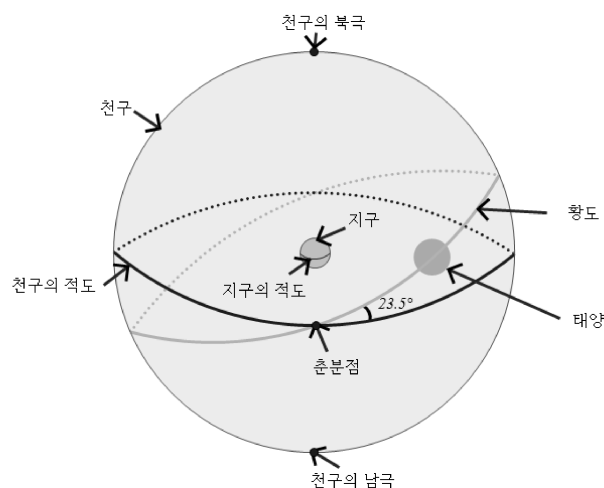
이런 이유로 사람의 눈에는 별자리들을 이루는 별들이 전부 같은 거리에 있는 것으로 느껴진다. 사람의 눈이 이러한 작용을 함으로써 다음과 같은 발상이 가능하게 된다. 별들이 구 껍질에 붙어서 운동을 하든 아니면 3차원 공간상에 마구잡이로 분포하고 있든 결국 우리 눈에 동일한 운동으로 보인다면 우리 눈에 보이는 별의 운동을 분석할 때 편리한 방법을 사용하자는 것이다. 예를 들어 아이들에게 별자리를 밤하늘의 어느 방향에서 관찰해야 하는지 가르쳐야 한다고 할 때 방위각과 고도만 가르쳐 줘도 되는데 이때는 별자리와 지구의 거리는 중요하지 않다. 실제로 과거에도 별자리의 위치를 가지고 방향을 찾는 등 별자리의 운동을 분석할 필요가 있었을 것이며 이때도 별자리가 위치한 실제 거리 보다는 밤하늘의 어느 방향에서 그 별자리를 찾을 수 있는지가 중요했을 것이다.

이렇듯 지구에서 별까지의 거리가 중요하지 않는 경우에는 실제로 별들이 같은 거리에 있지는 않지만 같은 거리에 있다고 가정한 가상의 구 껍질의 개념으로 별의 위치를 찾는 것이 굉장히 편리하다. 그리고 실제로 별자리를 이루고 있는 별들이 가상의 구 껍질에 고정되어 있다는 가정에서 시작한 우리 눈에 보이는 별자리의 운동 분석방법이 우리 눈에 보이는 별자리의 운동과 거의 일치한다. 최근의 천체물리학 교재에서도 이러한 이유로 이러한 가상의 구를 도입한 설명 방식이 많다. 이때 이 가상의 구 껍질을 천구라고 한다.(박석재 2003) 천구는 실제 별이 분포하고 있는 구 껍질이 아니라 우리가 천체들의 움직임을 효과적으로 예측하고 분석하기 위해 도입한 가상의 구 껍질이다. 천구의 개념을 도입하게 되면 우리 눈에 보이는 각 천체들이 전부 천구 상에 위치한다고 생각하게 되므로 천체들의 좌표와 천구에 부여된 좌표들로 표현이 된다. 천구에 좌표를 부여하는 방법이 몇 가지 있으나 여기에서는 적경과 적위로 천구상의 위치를 나타내는 적도좌표계를 설명하도록 하겠다.

3) 적도좌표계

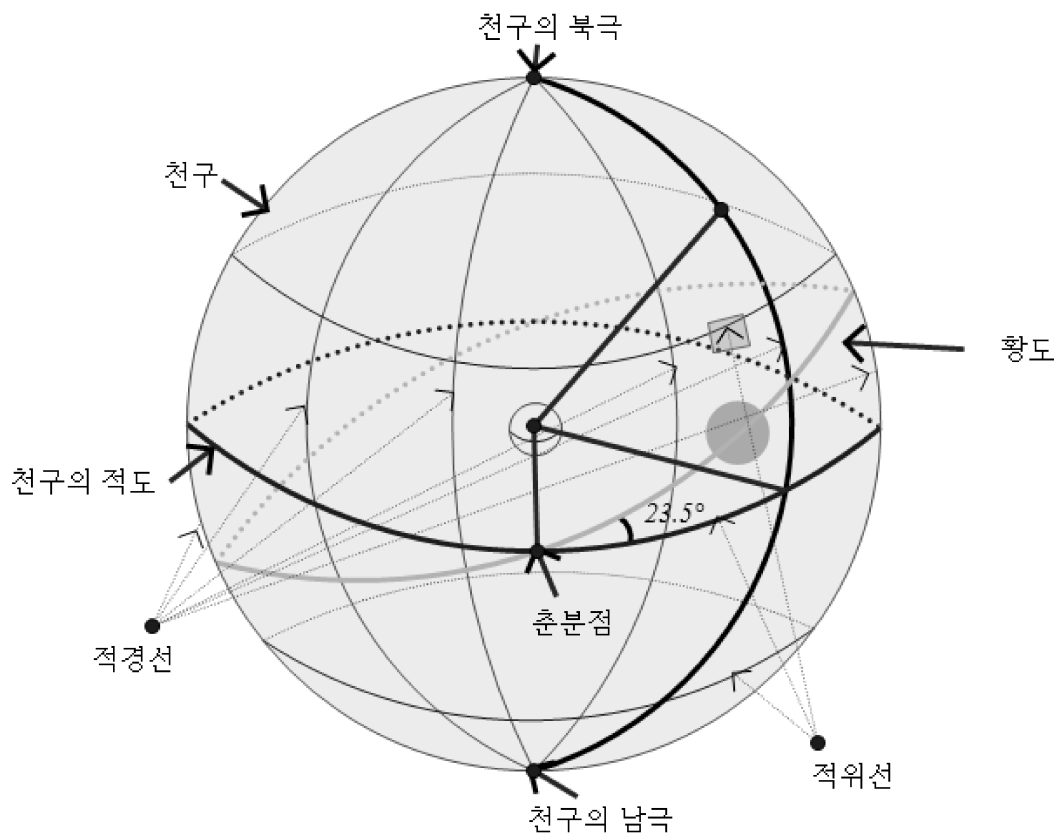
천구도 구 껍질이기 때문에 구 껍질 표면에 좌표를 부여할 수 있다. 천구 상에 좌표를 부여하기 위해서는 구 껍질의 중심, 극, 적도, 방위각의 기준점을 선정해야 한다. 적도좌표계에서는 이러한 중심, 극과, 적도와, 방위각의 기준점으로 천구의 북극, 천구의 적도, 춘분점을 이용한다. 천구의 중심은 보통 지구가 된다.

하지만 지구에서 천구까지의 거리가 매우 멀기 때문에 지구중심에 있으나 지구 표면에 있으나 태양계의 어느 한 지점에 위치해 있으나 천구의 반지름에 비하면 매우 작은 거리가 된다. 따라서 태양, 지구, 화성, 지구중심, 지구표면에서 바라본 천구의 모양은 전부 같다. 천구의 중심은 태양계 내부로 한정짓기로 하고 일단은 지구의 중심을 천구의 중심으로 잡자. 천구의 북극은 북반구에서 밤하늘을 바라볼 때 다른 별자리들이 일주운동과 연주운동을 하는 중심이 되는 지점이다. 북극성은 천구의 북극과 굉장히 가까워 북반구 별자리들의 회전중심처럼 보인다. 천구의 적도는 천구의 중심에 지구를 놓았을 때 지구의 적도를 포함하는 거대한 평면이 천구와 만나 이루는 대원으로 정한다. 방위각의 기준이 되는 천구상의 위치는 춘분점으로 정하는데, 춘분점은 황도와 천구의 적도의 교점중 하나의 지점으로 정해진다. 여기서 황도는 천구 상에 태양이 지나가는 길을 의미한다. 천구의 반지름에 비해 지구와 태양 사이의 거리는 매우 가깝지만 지구에서 태양의 움직임을 관찰하면 지구의 관찰자에게는 태양이 천구상의 어느 위치에서 움직이는 것으로 관찰이 되는데 마치 천구 상의 특정한 원을 따라 움직이는 것으로 보인다. 이 원을 황도라고 부른다. 황도와 천구의 적도는 대략 23.5° 기울어져 있어 천구의 적도와 황도는 2개의 점에서 만난다. 그 중 한 개의 점은 우리나라의 계절이 봄일 때 만나는 점인데 이를 춘분점이라고 한다. [그림 14]에 각 용어들의 정의가 잘 표현되어 있다.

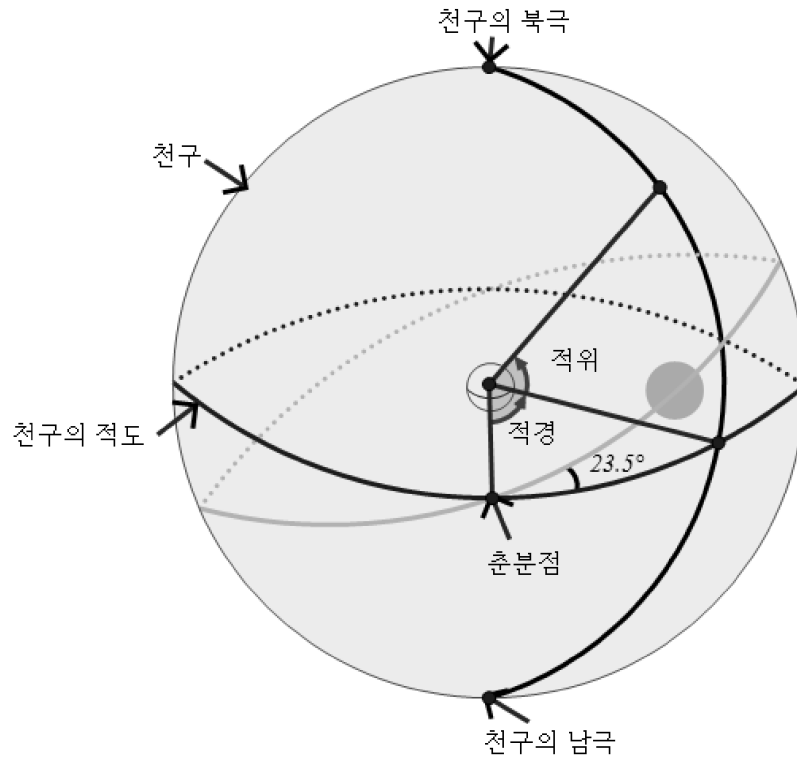


[그림 14] 천구 상 좌표를 표현하기 위한 용어.

천구라는 구 껍질에 적도좌표계로 극, 적도, 방위각의 기준점이 정해졌으므로 이 구 껍질에 적도좌표계에서 정한 극과 적도에 맞게 위선과 경선을 그리면 천구표면상에 방위각과 고도로 좌표를 부여할 수 있다. [그림 15]와 같이 천구 상에 그린 위선을 경위선, 천구 상에 그은 경선을 적경선이라고 한다. 그리고 [그림 16]에서 보는 것과 같이 춘분점을 기준으로 적도좌표계상에서 측정한 방위각을 적경, 측정한 고도를 적위라고 한다. 즉 천구 상에서 적도좌표계로 측정한 방위각과 고도를 적경, 적위라고 한다.(박석재 2003)



[그림 15] 적경선과 적위선.



[그림 16] 적경과 적위를 이용한 천구 상 좌표 표현.

4) 적도좌표계를 이용한 별자리의 일주운동과 연주운동의 해석

이제 적도좌표계를 이용하여 우리 눈에 보이는 별자리의 일주운동과 연주운동을 분석할 수 있는 방법에 관하여 이야기해보도록 하자.

적도좌표계로 우리 눈에 보이는 천체들의 운동을 분석하기 위해서는 실제 지구에 대한 천체들의 상대적인 분포에 앞서 다음의 가정들을 받아들여야 한다.

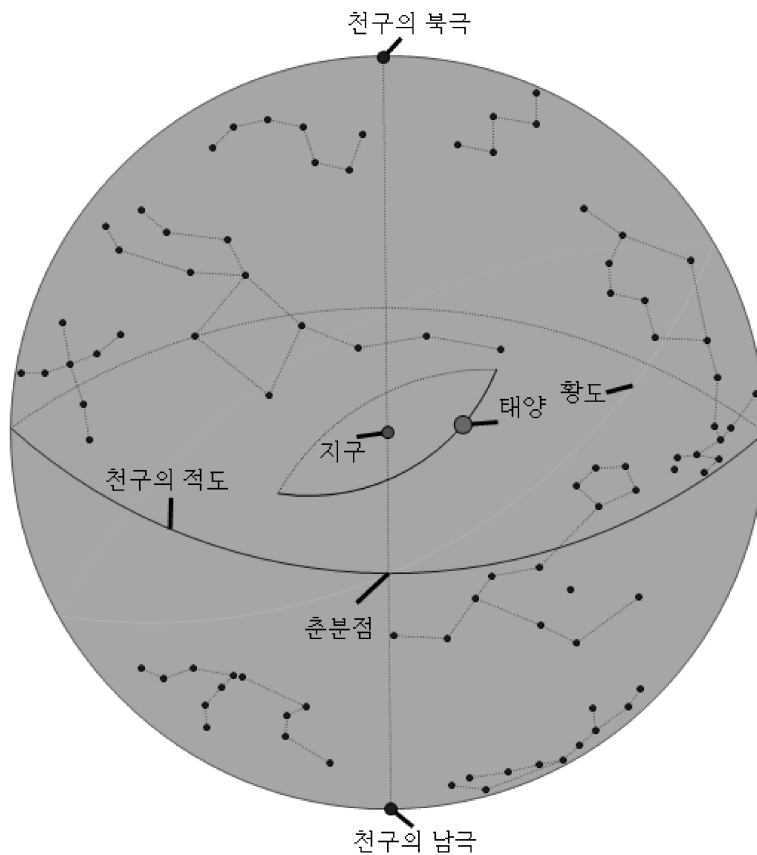
- (1) 우리 눈에 보이는 별자리들은 천구라는 가상의 구 껍질에 모두 고정되어 있어 별자리를 이루는 별들끼리의 상대적 거리는 변하지 않는다.
- (2) 천구의 반지름은 무한대이며 태양계를 이루고 있는 어떤 천체들 사이의 거리도 천구의 반지름에 비해 매우 작기 때문에 태양계의 어떤 천체 위에서 천구를 바라보더라도 그 모양은 같다.
- (3) 천구의 반지름에 비해 비교적 가까운 거리에 있는 천체들은 다른 천체에서 바라보았을 때 천구 상에 위치해 있는 것으로 보이지만 이 천체들은 별자리를 이루고 있는 별들과는 달리 천구에 고정되어 있지 않고

천구 상에서 위치가 변할 수 있다.

(4) 지구의 자전축은 천구의 북극과 남극을 잇는 선과 평행하며, 지구의 자전축과 천구의 적도는 서로 수직이다.

(5) 태양을 타원의 한 초점으로 하는 지구의 공전궤도면은 천구의 적도면과 대략 23.5도의 각도를 유지하고 있다.

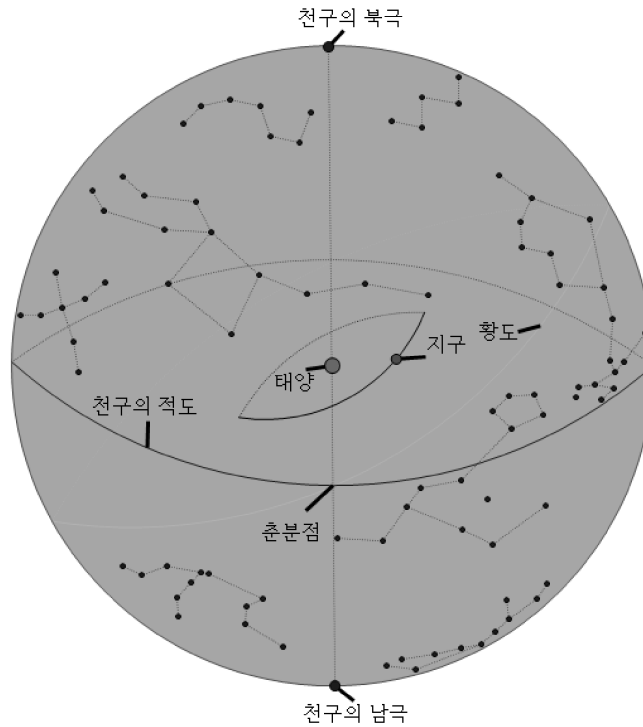
이러한 관점에서 지구를 중심으로 하는 천구의 모형은 [그림 17]과 같다.



[그림 17] 지구 중심 천구 모형.

천구의 반지름을 무한대로 가정하면 태양을 중심으로 하는 천구의 모형도 [그림 18]과 같이 크게 다를 바 없다. 태양을 중심으로 지구가 공전을 하고 있다고 하면 지구에 대해서는 태양이 공전하는 것처럼 보인다. 하지만 이 공전반지름 역시 천구의 반지름에 비해 매우 작기 때문에 궤도 어디에 있든지 천구의 중심에

서 크게 벗어나지 않을 것이라 생각하면 공전하는 동안 지구나 태양에서 바라본 천구의 모양은 변하지 않는다. 다만 두 경우 모두 황도는 지구에서 바라본 태양의 천구 상 이동경로이다.

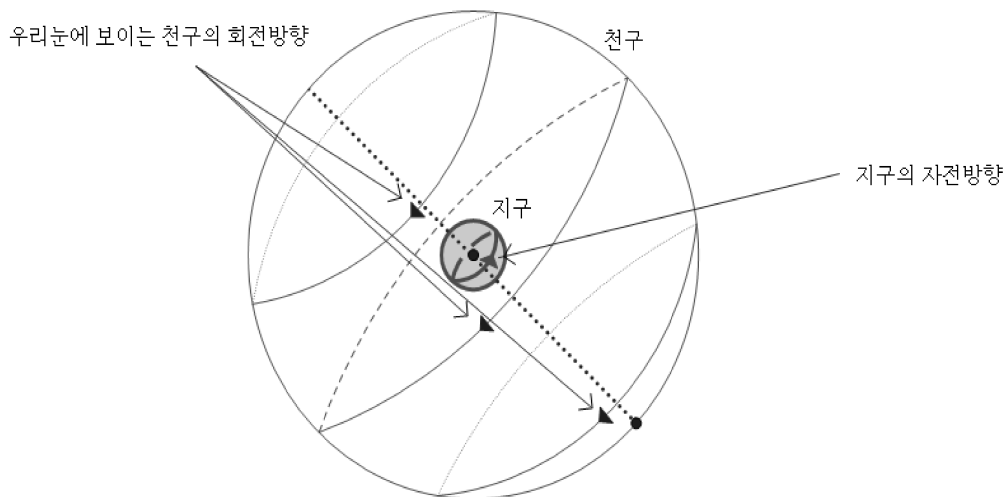


[그림 18] 태양 중심 천구 모형.

지구를 중심으로 한 천구모형에서나 태양을 중심으로 한 천구 모형에서나 별 자리를 이루고 있는 별들은 모두 천구에 고정되어 있다. 즉 중심과 극, 춘분점에 대한 방위각과 고도가 적도좌표계상에서 고정이 되어 있다.

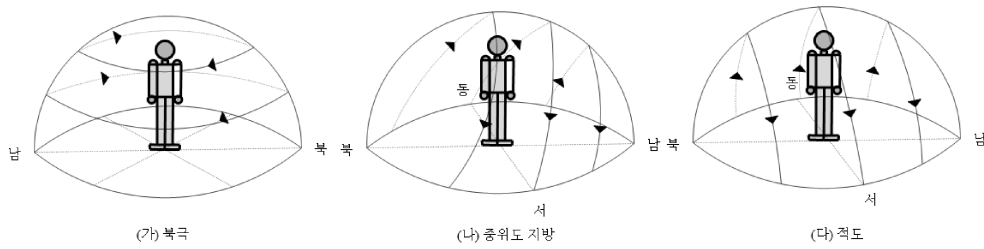
이모형을 가지고 지구 표면에서 있는 관찰자에게 일주운동과 연주운동이 관찰되는 이유에 관하여 생각해보자. 먼저 이러한 천구 모형에서 지표면의 관찰자가 일주운동을 관찰할 수 있는 경우는 두 가지이다. 첫 번째는 지구는 가만히 있고 천구가 돌아가는 경우이다. 두 번째는 천구는 가만히 있는데 지구가 자전을 하는 경우이다. 마치 방 안에 있는 시계를 방의 중심에서서 회전하면서 관찰하면 시계가 관찰자를 중심으로 회전하는 것처럼 보이는 이유와 같다. 지구가 자전을 해도 관찰자는 지구의 자전을 몸으로 느끼지 못하기 때문에 자신이 자전을 하는

것인지 자신은 가만히 있는데 천구가 돌아가고 있는 것인지 구분하지 못한다. 최근에는 천구모형으로 일주운동을 설명할 때는 천구는 고정된 것이라 가정하고 지구가 자전 및 공전을 하기 때문인 것으로 설명한다. 이유는 전향력, 인공위성의 서편현상, 푸코의 진자 등에 의해서 지구가 자전을 한다면 일어날 것으로 예상되는 현상들이 실제로 관찰되었으며, 연주시차, 적색 및 청색편이, 광행차 등으로 인하여 공전을 한다면 일어날 것으로 예상되는 현상들을 과학기술의 발달로 관찰할 수 있게 되었기 때문이다.(김희준 등 9명 2011) 그리하여 지구가 자전 및 공전을 한다는 전제로 천구모형을 가지고 일주운동과 연주운동을 설명을 했더니 실제 지표면의 관찰자가 관측하는 운동과 동일한 운동을 할 수 있는 설명체계가 완성되었다. 이 설명 체계에서는 [그림 19]와 같이 일주운동과 연주운동을 설명한다.



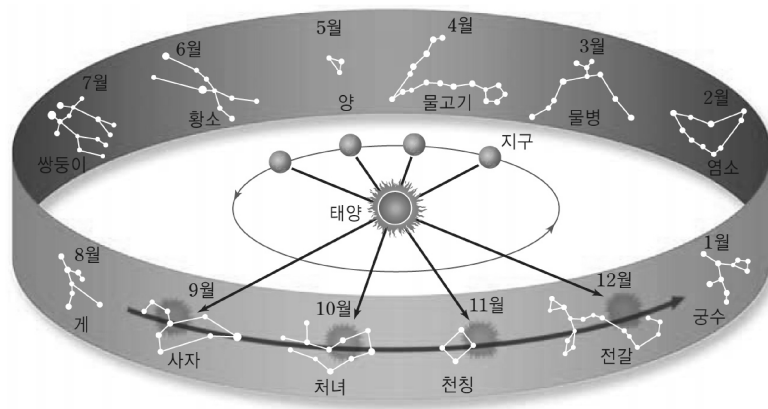
[그림 19] 지구 자전에 의한 천구의 시운동.

지구가 자전을 하기 때문에 지구에서 보았을 때 천구는 지구 자전의 반대 방향으로 회전하는 것으로 보인다. 남반구는 북반구를 바라보는 관점과 같다고 하여 북반구에서 관찰자의 위도에 따른 일주운동은 [그림 20]과 같은 형태로 나타난다.



[그림 20] 위도에 따른 일주 운동의 형태.

이렇게 관찰이 되는 이유는 3차원적으로 조금만 생각해 보면 알 수 있다. 일주 운동의 주기가 지구 자전의 주기와 같다는 것을 여기서 바로 확인할 수 있다. 연주운동은 지구의 공전을 가지고 [그림 21]과 같이 설명한다.



[그림 21] 황도 12궁과 연주운동.1)

천구의 중심에서 태양 주위를 지구가 그림과 같이 돌고 있을 때 지구에서 태양을 바라보면 태양이 화살표 방향의 천구에서 관찰될 것이다. 지구가 공전할 때 태양에 대한 지구의 위치에 따라 그날그날 관찰할 수 있게 되는 별자리가 달라지는 데 하루마다 별자리가 이동하는 각도가 지구의 공전주기에 따른 이동각과 동일하다. 그림에서 태양이 전갈자리에 위치하고 있다면 전갈자리는 관찰이 되지 않는다. 이유는 태양빛이 밝기 때문이며 이 시기의 밤하늘에서는 전갈자리의 반대편에 있는 별자리들이 관찰되게 된다.

1) 이태욱 등 8명(2011), 지구과학 I, 교학사 P 218

III. 행성의 역행운동 설명방법에 관한 고찰

2009 개정 교육과정에서 외행성의 역행운동에 관하여 다루고 있는 교과목은 고등학교 과학과 지구과학 I 교과목이다. 지구과학II에서는 외행성의 역행운동에 관하여 다루고 있지 않다. 이 중에서 고등학교 과학 교과서는 6개 출판사에서 출판한 7가지 교과서가 인정을 받아 학교에서 사용되고 있으며, 지구과학 교과서는 2개 출판사에서 출판한 2가지 교과서가 인정을 받아 학교에서 사용되고 있다. 여기서는 2009 개정 교육과정 및 9개의 교과서에 제시된 역행운동의 설명방법을 소개하고, 새로운 방식의 역행운동 설명방식을 제시하고자 한다.

1. 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정 및 기존 교과서에서 역행운동

1) 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정에 제시된 역행운동

[표 3] 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정 고등학교 과학 영역과 내용요소.²⁾

영역		내용 요소
우주의 기원과 진화	우주의 기원	우주의 팽창, 허블의 법칙, 적색편이, 우주의 나이
	빅뱅과 기본입자	기본입자, 양성자, 중성자, 원자핵의 형성
	원자의 형성	수소와 헬륨 원자, 우주배경복사
우주와 태양계와 지구	별과 은하	별의 탄생과 진화, 무거운 원소의 합성, 은하의 구조, 성간 화학물질, 공유 결합, 반응속도
	태양계의 형성	태양계 형성 과정, 태양 에너지, 지구형 행성, 목성형 행성
	태양계의 역학	케플러의 법칙, 뉴턴의 운동법칙, 행성의 운동, 지구와 달의 운동, 자전, 공전
	행성의 대기	탈출속도, 행성 대기의 차이, 분자 구조와 성질
생명	지구	지구의 진화, 지구계, 지구의 원소 분포, 지자기
	생명의 탄생	원시 지구, 화학 반응과 화학적 진화, 탄소 화합물, 생명의 기본 요소, DNA, 단백질, 세포막의 구조
	생명의 진화	원시 생명체의 탄생, 광합성과 대기의 산소, 화석, 지질 시대, 원핵세포, 진핵세포, 생물의 다양성
	생명의 연속성	유전자와 염색체, 유전 암호, 세포 분열, 유전자의 복제와 분배, 생식을 통한 유전자 전달

2) 한국교육과정평가원(2009), 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정 P2

과 학 과 문 명	정보통신과 신소재	정보의 발생과 처리	정보의 발생, 센서, 디지털 정보처리
		정보의 저장과 활용	저장 매체, 디스플레이, 정보 처리의 응용
		반도체와 신소재	반도체 특성, 반도체 소자, 고분자 소재
	인류의 건강과 과학기술	광물 자원	광물의 유형, 생성과정, 탐사, 활용
		식량자원	육종, 비료, 식품 안전, 생태계와 생물 다양성
		과학적 건강관리	영양, 물질대사, 질병과 면역, 물의 소독, 세제, 천연 및 합성 의약품, 건강검진
	에너지와 환경	첨단 과학과 질병치료	첨단 영상 진단, 암의 발생과 진단, 치료
		에너지와 문명	에너지의 종류 · 보존 · 전환, 에너지보존 법칙, 에너지 효율, 화석 연료
		탄소 순환과 기후변화	지구 에너지의 균형, 온실 효과와 기후 변화, 탄소 순환, 광합성과 이산화탄소의 환원
		에너지 문제와 미래	에너지 자원의 생성과 고갈, 신재생에너지, 핵에너지, 지속가능 발전과 에너지

[표 4] 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정 지구과학 I 영역과 내용요소.³⁾

	영역	내용 요소
소중한 지구	행성으로서의 지구	생명체를 위한 최적 환경 지구, 지구계의 상호 작용 지하자원, 토양자원
	지구의 선물	대기, 수자원, 자원의 보고로서의 해양 관광자원으로서의 지구 환경, 미래 친환경 에너지
	아름다운 한반도	한반도의 지질과 지형 한반도의 지질 명소
생동하는 지구	고체 지구의 변화	지진·화산과 판구조론, 풍화 작용, 사태, 지질 재해의 피해와 대응책
	유체 지구의 변화	기상·해양 정보와 생활, 대기·해수의 순환과 기상 현상, 태풍, 황사, 해일, 기타 악기상 등, 기상·해양 재해의 피해와 대응책
위기의 지구	환경 오염	대기 오염, 해양 오염, 토양 오염, 수질 오염, 우주 쓰레기
	기후 변화	지구 역사 속 기후의 변화, 기후 변화의 원인, 엘니뇨, 온실효과, 지구 온난화, 사막화, 오존홀 등, 지구 환경 변화 해결을 위한 방안
다가오는 우주	천체 관측	별자리 관측과 계절에 따른 별자리 변화, 천체의 운동과 좌표계, 태양 관측, 태양의 표면과 대기의 특징, 행성 관측과 행성의 운동 , 달의 위상변화, 일식과 월식
	우주 탐사	우주 탐사선, 태양계 천체들의 특징, 우주 망원경의 종류와 특징, 외계 행성과 생명체 탐사, 최신 우주 탐사 계획

3) 한국교육과정평가원(2009), 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정 P49

[표 3]과 [표 4]는 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정의 과학, 지구과학I 영역 및 내용요소이다. 고등학교 과학에서 역행운동은 ‘우주와 생명 - 태양계와 지구 - 태양계의 역학’ 영역의 ‘행성의 운동’이라는 내용요소에서 제시되었다. 이와 관련된 영역별 내용은 ‘코페르니쿠스, 갈릴레오 등의 업적을 통해 태양중심설이 확립된 과정에 대해 조사하고 토론하기’⁴⁾이다. 지구과학 I에서 역행운동은 ‘다가오는 우주-천체관측 영역’의 ‘행성 관측과 행성의 운동’이라는 내용요소에서 제시된다. 그리고 이와 관련된 영역별 내용은 ‘역사적인 관점에서 다양한 태양계 모형을 살펴보고, 이들로 행성의 시운동을 설명할 수 있음을 이해한다.’⁵⁾이다. 고등학교 과학에서는 우주관이 지구 중심 모형에서 태양 중심 모형으로 전환되는 과정에서 각 주장의 타당성을 따지기 위한 자연현상으로 도입이 되고 있으며, 지구과학I에서는 우리에게 관측되는 행성의 운동 자체에 비중을 두고 있어 역행운동을 고등학교 과학에서 보다 심도 있게 다룬다. 고등학교 과학에서는 역행운동에 관하여 소개 정도만 하거나 생략된 부분이 많아 이 논문에서는 역행운동을 심도 있게 다루는 지구과학I 교과서의 내용을 주로 다루었고, 새롭게 제안할 자료와 설명방식도 지구과학I에서의 내용과 비교하였다.

2) 역행운동과 관련된 교과서의 학습 내용

9가지 교과서를 분석하여 역행운동을 통해 교육해야 할 내용을 정리한 결과는 다음과 같다.

- (1) 행성의 겉보기 운동의 정의
- (2) 역행과 순행의 정의
- (3) 태양 중심 모형에서 역행운동 설명 방법
- (4) 역행운동이 일어나는 시기

3) 역행운동과 학습내용에 관한 교과서 제시자료 및 설명

- (1) 행성의 겉보기 운동에 관한 설명

행성의 겉보기 운동에 대한 교과서의 설명은 다음과 같다.

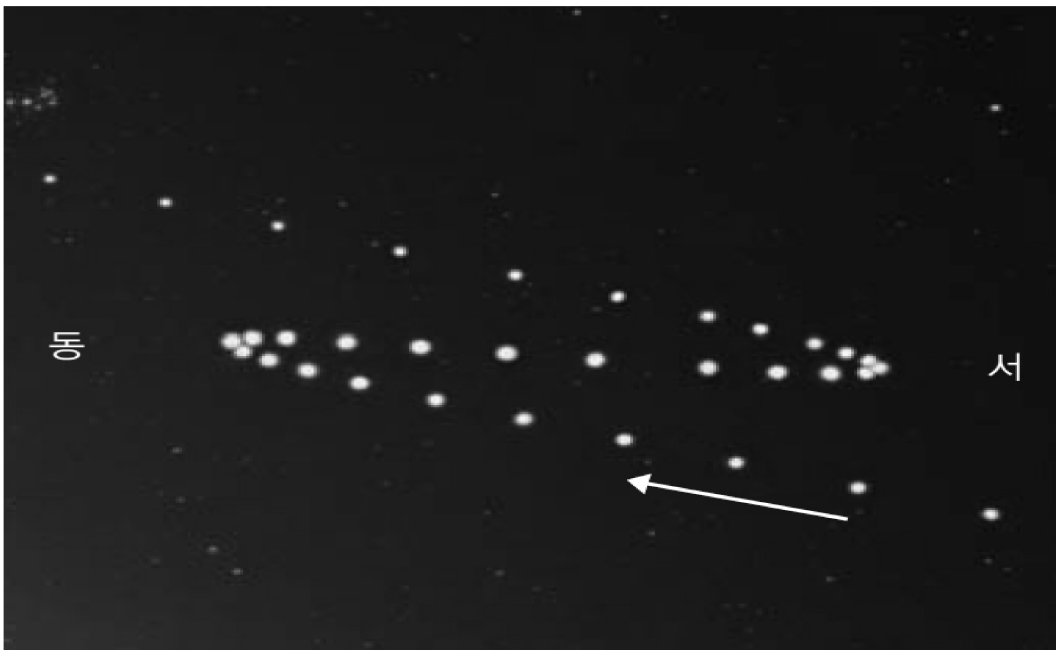
4) 한국교육과정평가원(2009), 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정 P3

5) 한국교육과정평가원(2009), 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정 P52

‘지구에서 행성들을 관찰하면 행성들이 천구 상에서 매우 불규칙하고 복잡하게 움직이는 것처럼 보인다.⁶⁾ 천구 상에 나타나는 이러한 행성들의 운동을 행성의 겉보기 운동이라고 한다.⁷⁾(최변각, 2011)

(2) 역행과 순행의 정의에 관한 설명

역행과 순행의 정의에 대한 교과서의 설명은 다음과 같다.



[그림 22] 화성의 시운동.⁸⁾

‘행성을 장기간 관측해 보면 [그림 22]와 같이 행성이 천구상의 서쪽에서 동쪽으로 움직이다가 반대로 동쪽에서 서쪽으로 움직이고, 다시 서쪽에서 동쪽으로 움직이는 것을 볼 수 있다.⁹⁾ 이렇게 행성이 서쪽에서 동쪽으로 움직일 때를 순행, 동쪽에서 서쪽으로 움직일 때를 역행이라고 한다.¹⁰⁾(이태욱, 2011)’

6) 최변각 등 8명(2011), 지구과학 I, 천재교육 P248

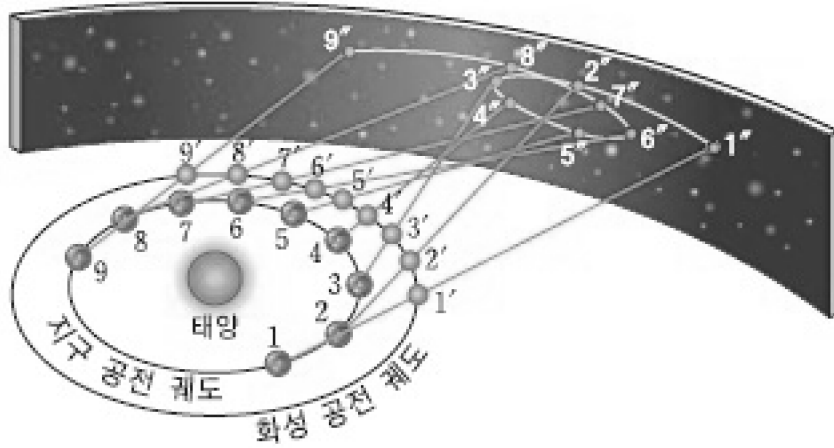
7) 최변각 등 8명(2011), 지구과학 I, 천재교육 P248

8) 이태욱 등 8명(2011), 지구과학 I, 교학사 P224

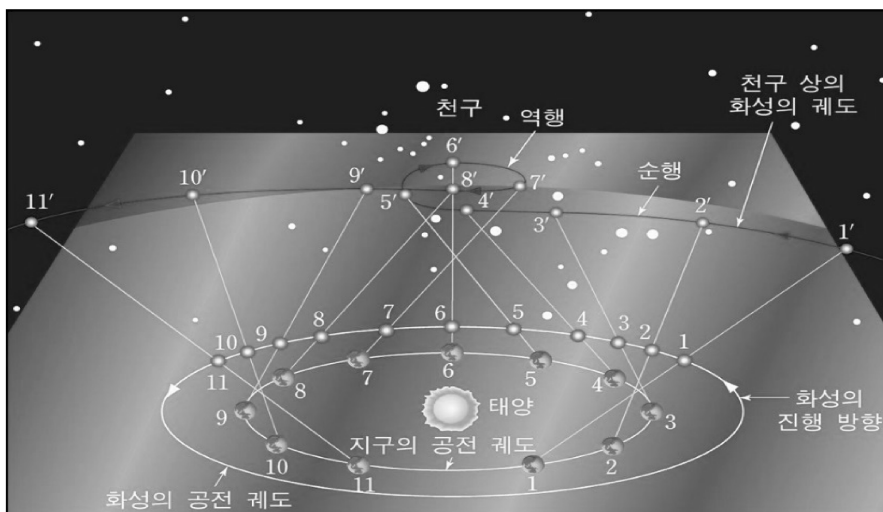
9) 이태욱 등 8명(2011), 지구과학 I, 교학사 P224

10) 이태욱 등 8명(2011), 지구과학 I, 교학사 P224

(3) 태양 중심 모형에서 역행운동의 원인 설명



[그림 23] 역행운동 원리.¹¹⁾



[그림 24] 역행운동 원리.¹²⁾

교과서에서는 태양 중심 모형에서 역행운동이 일어나는 원인을 [그림 23], [그림 24]와 같이 설명한다. 화성이 ‘충’의 위치에 도달하기 전후 각 궤도상에 같은 날 지구와 화성의 위치를 표시하고, 같은 날 지구와 화성을 이은 선분을 천구까지 연장하여 천구에 나타나는 화성의 궤도에 역행하는 구간이 있다는 것으로 태양 중심 모형에서 화성의 역행운동이 관

11) 이태욱 등 8명(2011), 지구과학I, 교학사 P226
 12) 최변각 등 8명(2011), 지구과학I, 천재교육 P250

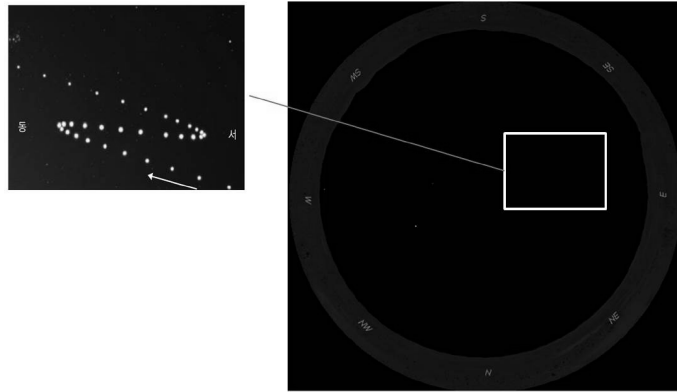
찰되는 이유를 설명한다. 이 때 그림에 나타난 천구는 지구가 궤도상의 어디에 있든지 다 같은 모양으로 보인다고 생각을 해야 한다. 이유는 천구의 반지름이 매우 커서 공전 궤도 상 어느 곳에서도 천구의 중심에서 크게 벗어나지 않기 때문이다. 또한 이 그림에서 역행이 ‘충’의 위치관계 근처에서 일어나며 천구 상의 궤도를 통해 불규칙한 행성의 운동 원인도 설명한다.

4) 교과서 설명 방식에 관한 고찰

(1) 겹보기 운동, 역행과 순행의 정의에 관한 설명에 관한 고찰

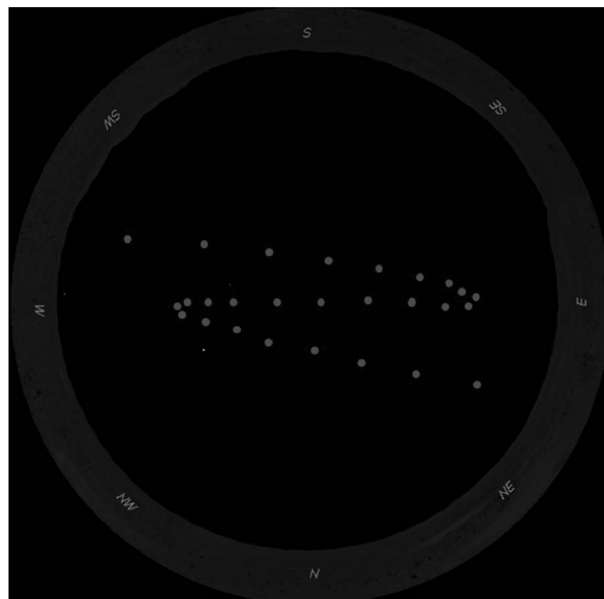
교과서에서 역행운동과 그 원리를 설명하기 위해서 천구의 개념을 사용한다. 지구과학I에서는 역행운동을 제시하기 이전에 천구의 개념을 먼저 제시한다. 별자리들은 천구 상에 고정되어 있으며, 천구의 중심에 위치한 지구의 자전과 태양을 중심으로 한 공전으로 인해 우리에게 별자리의 일주운동과 연주운동이 관찰된다고 설명한다. 그 이후 행성의 운동을 다룰 때에도 천구를 도입하여 천구에 대한 행성의 움직임을 주로 다룬다. 역행운동은 [그림 22]와 같이 적도좌표계 상에서 좌표가 바뀌지 않으며 화성이 위치할 수 있는 천구 상의 별자리를 하나 선정하여 별자리에 대한 화성의 위치변화 사진으로 설명한다. [그림 22]는 한 장으로 역행운동이 어떠한 운동인지 생각해 볼 수 있는 좋은 사진이다. 하지만 이 사진을 제대로 이해하기 위해서는 천구의 개념과 별자리의 연주운동에 관한 내용을 제대로 숙지하고 있어야 한다. 별자리는 천구에 고정되어 있으며, 우리 눈에 천구는 고정되어 있지만 지구의 자전으로 인해 우리 눈에는 별자리의 위치가 매일 같은 시간에 조금씩 서쪽으로 이동한다는 사실을 고려하여 이 사진을 해석해야 한다. 그렇지 못한 학생들의 경우 이 사진을 이해하는 과정에서 화성의 운동에 대한 기준점을 배경이 되는 별자리나 천구의 특정 위치가 아닌 우리가 바라보는 밤하늘이라고 생각할 수 있다. 천구는 고정되어 있으나 지구의 자전으로 인하여 우리의 눈에는 천구가 움직이는 것으로 관찰되는데 외행성의 역행운동은 고정된 천구에 대해서 위치가 바뀌는 운동이므로 사실상 우리가 교과서에서 보는 사진의 배경도 우리가 보기에는 움직이고 있다. 사진에 나온 배경의 별자리 역시 우리가 보기에는 매일 연주운동을 하고 있는 것이다. 이 부분을 조금 더 구체적으로 설명하자면 다음과 같다. [그림 25]와 같이 교과서에서 제시한 [그림

22]의 배경은 우리 눈에 보이는 밤하늘에 비하면 매우 작은 일부분에 불과하다.



[그림 25] 역행운동 사진 배경의 밤하늘 상 위치.

그런데 [그림 22]를 보고 배경을 전체 밤하늘로 착각하여 역행운동을 다음과 같이 생각할 수 있다는 뜻이다.



[그림 26] 배경을 잘못 생각한 역행운동.

[그림 22]의 배경이 되는 부분 역시 우리 눈에 매일 조금씩 움직이고 있으며 [그림 22]는 각각의 날에 찍은 사진을 합성한 것이므로 우리 눈에 보이는 밤하늘

에 [그림 26]과 같은 경로는 그려지지 않는다. starry-night 프로그램이나 the-sky와 같은 프로그램으로 역행운동을 관찰하고자 할 때도 이러한 관점 없이 프로그램을 실행하면 어려움이 따른다. 역행운동의 궤도라고 그려지는 궤도 자체가 시간에 따라 우리 눈에 움직이는 것으로 보이는데 그 이유를 생각해내기 어렵기 때문이다. 이런 이유로 교과서에 천구 상에서 행성이 움직인다는 표현의 의미를 학생들이 실질적으로 이해할 수 있는 시각적 자료가 필요하다.

(3) 태양 중심 모형에서 역행운동의 원인 설명에 관한 고찰

역행운동이 관찰되는 이유를 설명할 때에도 역시 천구의 개념이 사용된다. 태양 중심 모형에서 역행운동의 원인을 설명하기 위해 제시된 [그림 23과 [그림 24]에도 천구가 함께 그려져 있다. 지구와 화성이 ‘충’에 접근하는 전 후 특정 기간 동안 태양에 관한 지구와 화성의 태양에 대한 위치를 그리고 그 위치와 떨어진 지점에 천구를 그린다. 지구와 화성이 태양에 관하여 움직이고 있지만 지구에서 바라본 천구의 모양과 위치는 변하지 않는다고 가정한다. 이유는 천구의 반지름이 태양에서 지구와 화성까지의 거리에 비해 매우 크다고 가정하기 때문이다. 같은 날에 해당되는 지구와 화성을 천구까지 연장한 선에 의해 천구에 그려지는 점은, 지구에서 화성을 바라보았을 때 천구에 보이는 화성의 위치이다. 이 때 나타나는 천구 상 화성의 궤도에 역행하는 부분이 나타나는데 이를 통해 역행운동이 일어날 수 있음을 설명한다. 이러한 설명방식은 태양 중심 모형에서 역행운동을 잘 설명할 수 있다. 하지만 지구와 화성을 이은 선분을 연장할 때 선의 길이가 타당하게 그려졌는지의 문제가 있다. 그리고 ‘충’의 위치에서만 그림이 나타나 있기 때문에 ‘충’이 아닌 다른 위치에서 역행이 일어나지 않는 이유를 설명하기는 쉽지 않다. 또한 ‘겉보기 운동’이라는 용어에서도 문제가 발생한다. 교과서에서는 화성이 태양에 대해서는 역행운동이 아닌 타원운동을 하고 있으나 지구에 있는 관찰자가 보는 천구 상에서는 역행하는 구간이 있기 때문에 화성과 같은 외행성의 역행운동을 외행성의 겉보기운동 또는 시운동이라고 부른다. 하지만 ‘겉보기 운동’이라는 용어는 관찰자에 따른 운동의 상대성을 생각하면 적절한 표현이 아니다. 화성은 실제로는 타원운동을 하고 우리 눈에만 역행운동을 하는 것으로 보이는 것이 아니다. 태양에 있는 관찰자에게는 타원운동을 하고, 지구에 있는 관찰자에게는 역행구간을 포함하는 독특한 궤도로 운동을 하고 있는 것이다.

IV. 연구결과

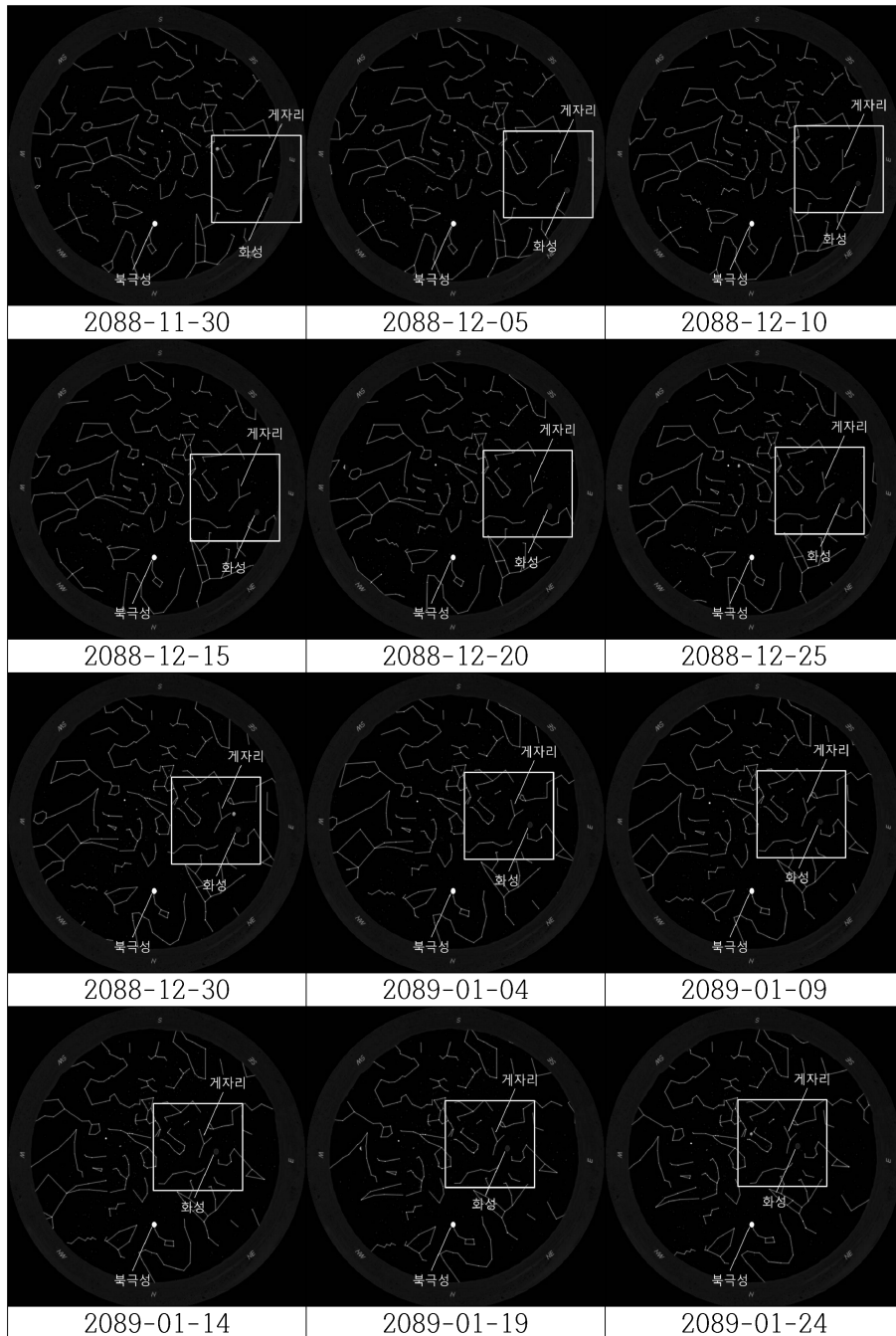
1. 별자리의 연주운동을 고려하여 역행운동의 정의를 설명할 수 있는 시각자료

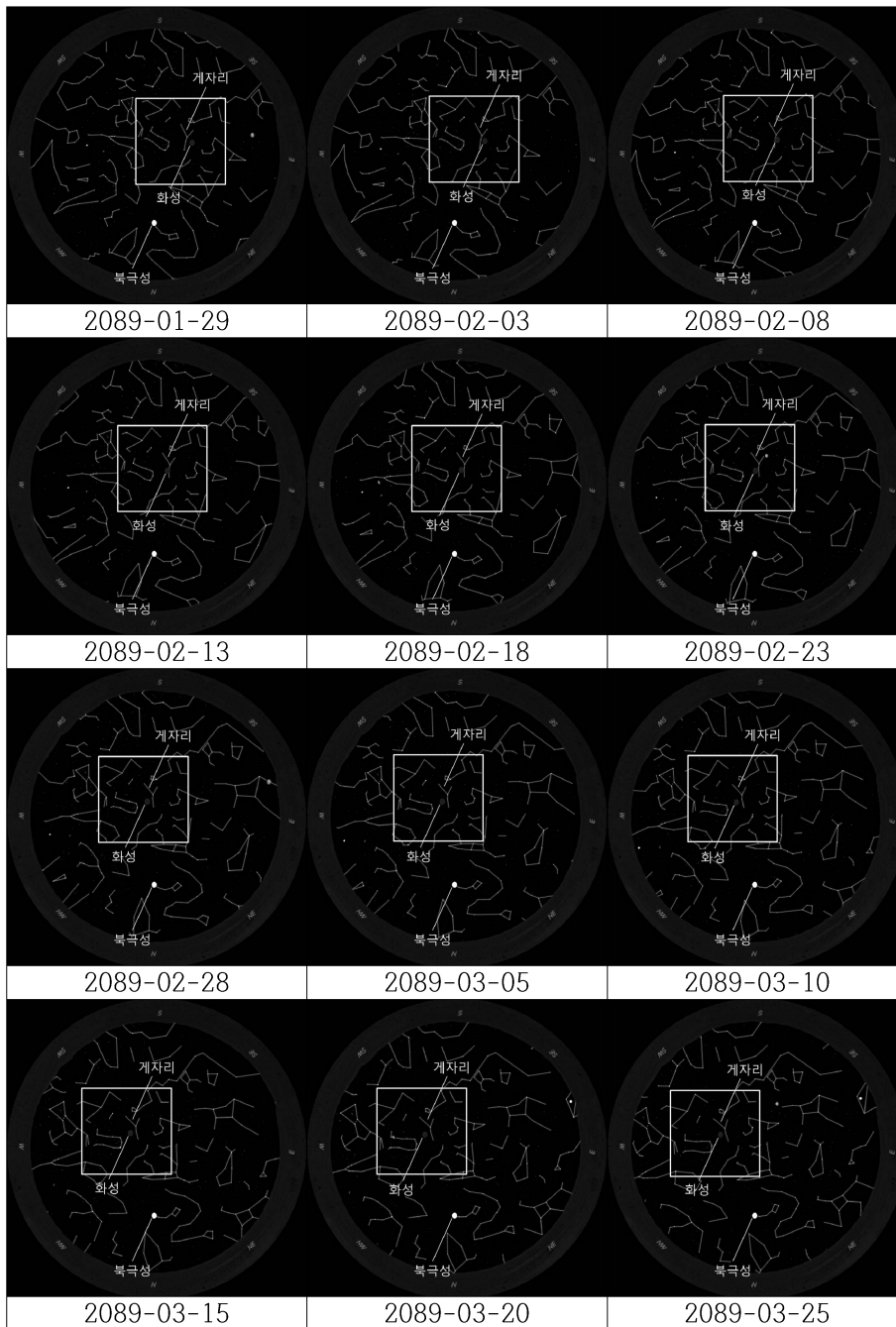
[표 5]에 제시된 그림들은 연주운동을 고려하여 역행운동을 생각할 수 있는 시각자료를 만들기 위해서 2088년 11월 30일부터 2089년 5월 9일까지 5일 간격으로 매일 11시에 대한민국 수원에서 보이는 밤하늘의 모습을 starry-night이라는 프로그램을 이용하여 화면에 구현하고 캡처한 것이다. 그림을 보면 관찰하는 날 짜마다 별자리의 위치도 바뀌고 화성의 위치도 바뀐다. 그리고 대체로 관찰하는 시간마다 별자리와 화성 둘 다 조금씩 서쪽으로 이동하는 듯이 보인다. 그런데 그림에 보이는 별자리 중 Y자 형태로 보이는 게자리를 기준으로 한 화성의 위치를 다시 한 번 바라보면 처음 며칠간은 게자리에 대해 동쪽으로 멀어지다가 12월 25일 이후에는 게자리와 점점 가까워진다. 애초에 게자리가 화성보다 서쪽에 있었으므로 게자리에 대하여 화성이 서쪽으로 움직인 것이다. 그러다가 다음해 3월이 끝나갈 무렵에 게자리에 대해서 다시 동쪽으로 움직이는 것을 볼 수 있다. 즉 화성이 게자리에 대해 순행을 하다가 역행을 하고 다시 순행으로 바뀐 것이다.

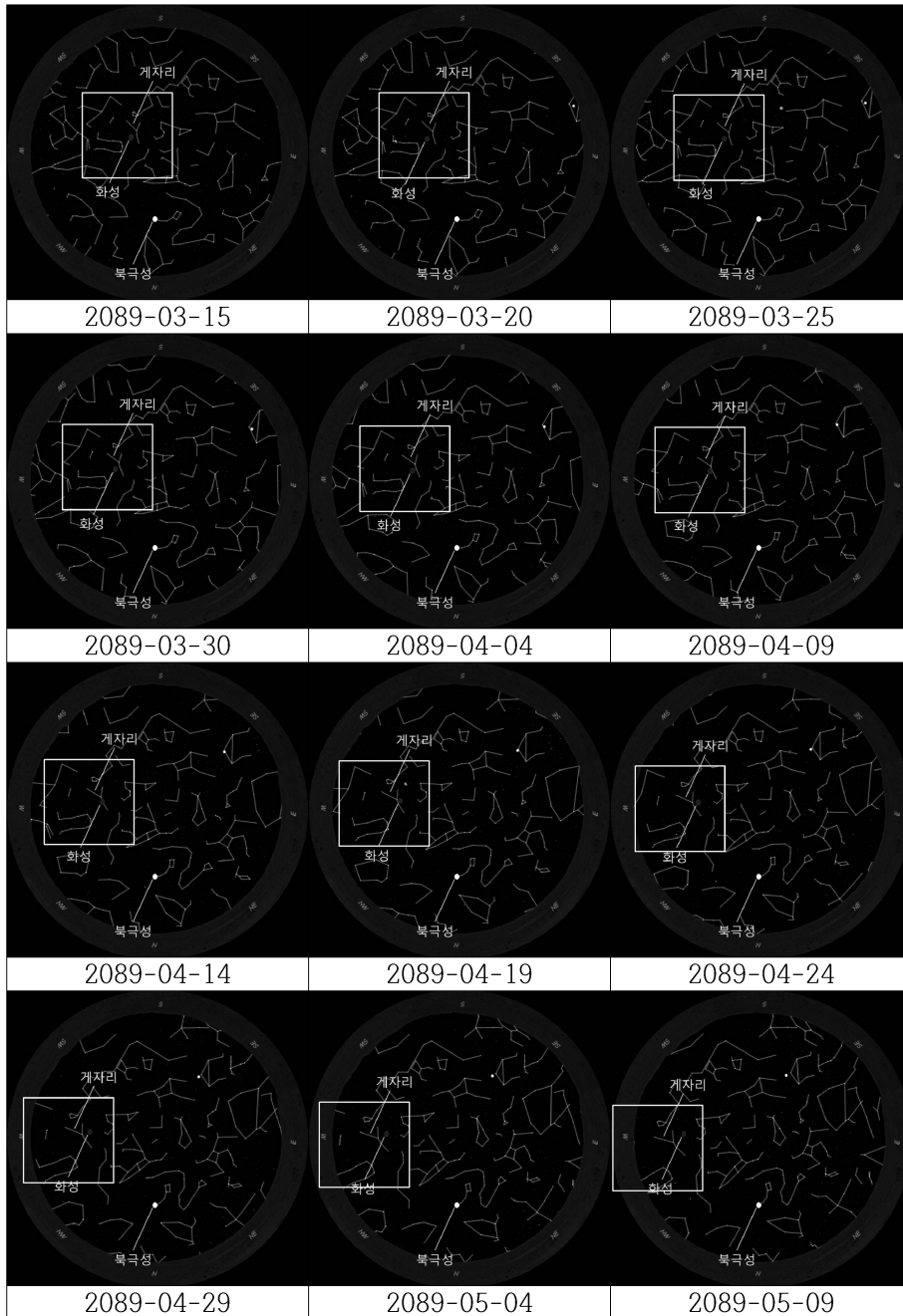
화성 말고도 태양 주위를 공전하고 있는 다른 행성들은 지구에서 관찰하였을 때 별자리가 그려져 있는 밤하늘 배경에 대해 역행운동을 하는 시기가 있다. 이러한 자료를 제시하게 되면 학생들이 천구 배경에 대한 외행성의 상대적인 역행운동이 우리 눈에 보이는 밤하늘 상에서 그렇게 보이는 것이 아니라는 생각을 하게 해 준다. 게자리를 기준으로 하는 역행운동 관찰에서 화성과 함께 게자리도 움직이는 것을 볼 수 있기 때문에 역행운동을 관측하기 위해서는 화성과 함께 화성의 운동을 표현하기 위한 천구상의 별자리와 같은 기준점도 함께 관측을 해야 하며 우리가 보는 밤하늘을 기준으로 한 화성의 운동이 아닌 별자리에 대한 화성의 상대적인 운동을 바라보아야 한다는 생각을 가질 수 있게 해 준다.

다만 이러한 교육 자료의 단점은 6개월 정도 간격을 두고 운동하는 사진들을 실어야 하므로 교과서의 지면을 많이 차지할 수 있고 여러 장의 사진을 보면서 생각해야 하기 때문에 자료 해석에 시간이 걸린다. 이 수업자료는 파워포인트를 이용해서 연속적으로 보여주는 것이 교육 현장에서는 더욱 효과적이다.

[표 5] 별자리의 연주운동을 고려한 역행운동 설명자료.







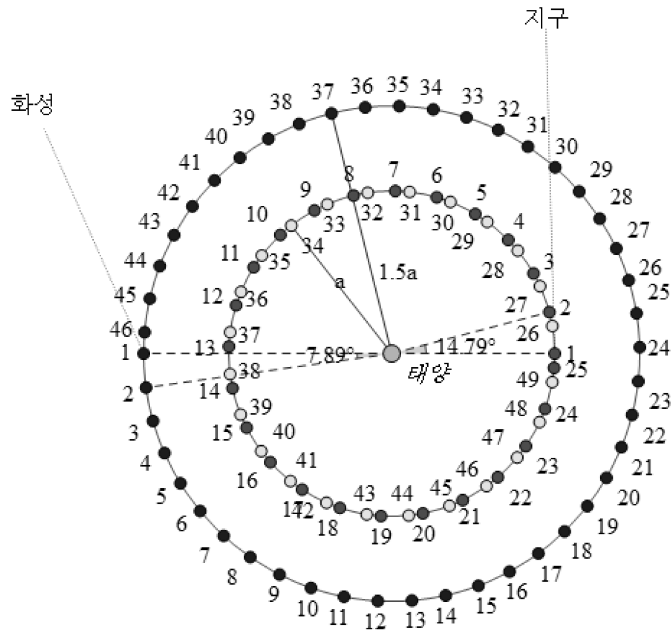
2. 태양 중심 모형에서 지구에 대한 화성의 상대궤도로 역행운동을 설명하는 방법

1) 태양 중심 모형에서 지구에 대한 화성의 상대궤도를 구하는 기하학적 방법

태양 중심 모형에서는 지구, 화성들과 같은 행성들의 운동을 태양을 기준으로 하여 분석을 한다. 우주상의 다른 기준점에서 바라보면 이 행성들은 매우 복잡한 운동을 할 것이 분명하지만 태양을 기준으로 한 행성들의 상대적인 운동은 케플러 제 1법칙에 의해 비교적 단순하게 구할 수 있다. 행성들은 태양을 한 초점으로 하는 타원운동을 하고 있다. 즉 금성, 지구, 화성과 같은 행성들은 태양을 한 초점으로 하는 태양에 대한 타원운동을 하고 있다. 하지만 고등학교 과정에서는 타원궤도로 운동을 분석하는데 어려움이 많아서 각각의 궤도를 원 궤도로 근사시켜서 계산한다. 실제로 지구와 화성은 타원궤도이 이심률이 굉장히 작아 원 궤도로 근사가 가능하다. 원 궤도로 근사를 시키게 되면 케플러 제 3 법칙에 의해서 각각의 공전 각속도가 같아지게 된다. 즉 공전주기가 지구는 365일, 화성은 687일 이라고 하면 태양을 중심으로 하는 원 궤도에서 지구는 하루에 $\frac{360}{365} \text{ } \approx 0.986 \text{ } ^\circ$, 화성은 하루에 $\frac{360}{687} \text{ } \approx 0.524 \text{ } ^\circ$ 씩 원 궤도 위를 움직이게 된다.

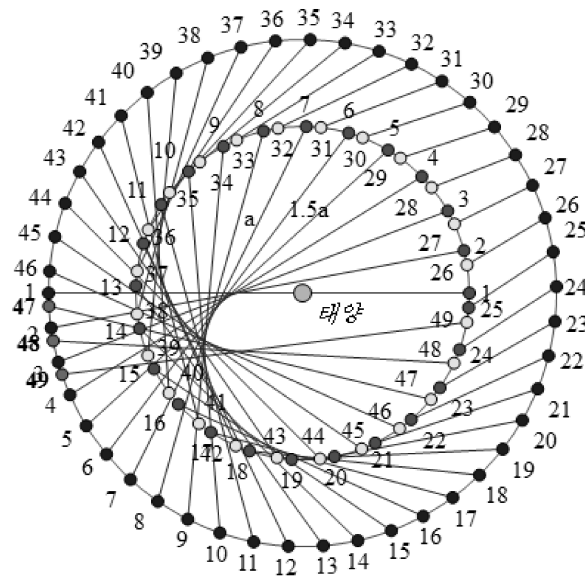
여기서는 지구와 화성과 태양이 같은 평면상에서 운동한다고 가정하고 공전궤도면 위에서 15일 간격으로 표시한 태양과 화성의 태양에 관한 위치들을 이용하여 지구에 관한 화성의 상대적 궤도를 대략적으로 구할 수 있는 방법에 관하여 소개한다. 이 방법은 2014년도 제주대학교 과학영재교육원 고등학교 사사과정 논문집에 실려 있는 내용을 재구성한 것이다.

15일 간격으로 지구와 화성이 태양에 관하여 이동한 각도는 각각 $14.79 \text{ } ^\circ$, $7.86 \text{ } ^\circ$ 이다. 태양에서 지구까지 거리는 1 AU, 태양에서 화성까지의 거리는 대략 1.5 AU인데 이를 고려하여 태양에 관한 지구와 화성의 궤도를 원 궤도로 근사시켜 그릴 때에는 반지름 비를 1:1.5로 하여 그렸다. [그림 27]과 같이 태양을 중심으로 반지름의 비가 1:1.5인 두 동심원을 그리고 작은 원에는 한 점을 시작으로 $14.79 \text{ } ^\circ$ 마다 점을 찍고 점마다 1부터 차례로 번호를 부여한다. 큰 원에는 작은 원에서 점의 시작점과 태양을 잇는 반직선과 만나는 점을 시작점으로 $7.86 \text{ } ^\circ$ 마다 점을 찍고 점마다 1부터 차례로 번호를 부여한다.



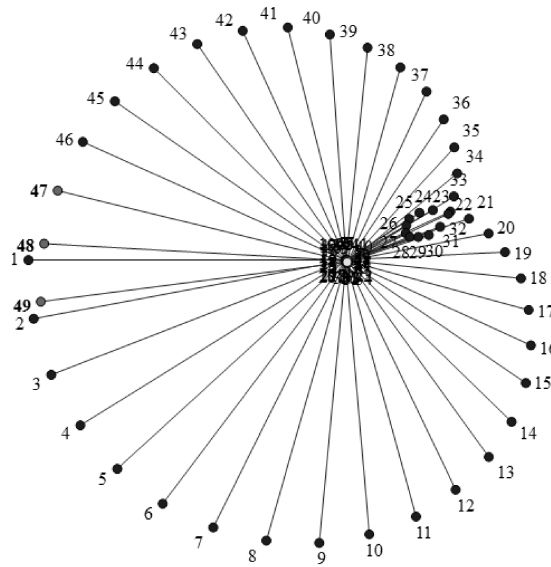
[그림 27] 태양을 중심으로 한 지구와 화성의 궤도.

그 이후 [그림 28]과 같이 안쪽에 있는 점과 바깥쪽에 있는 점을 같은 번호끼리 잇는다.



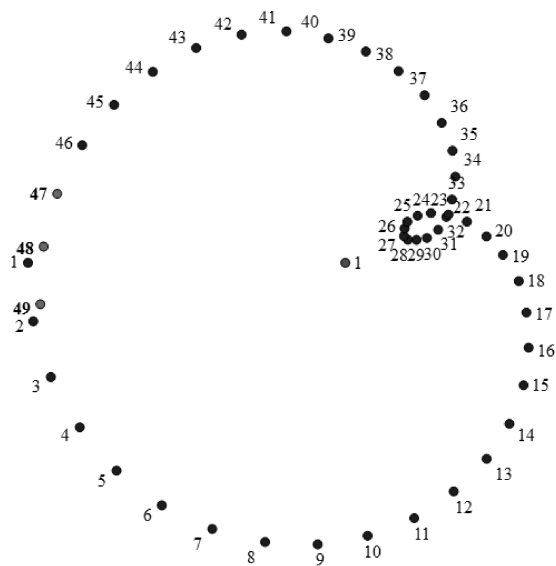
[그림 28] 같은 날 지구와 화성을 이은 선분.

그리고 나서 [그림 29]와 같이 각각의 선분을 안쪽에 있는 점이 다 한 점에 위치하게끔 평행이동 시킨다.



[그림 29] [그림 28]에서 각 선분을 지구의 위치가 동일하게 평행 이동한 그림.

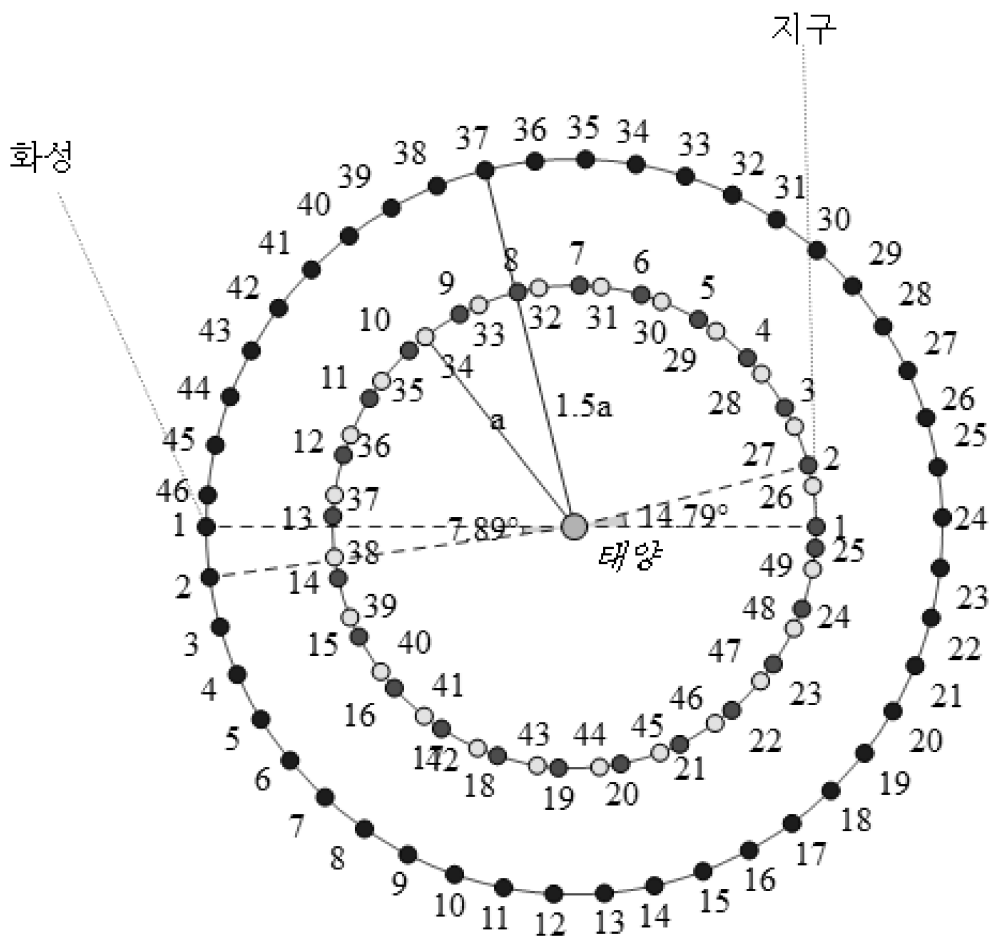
여기서 지구와 화성을 잇는 선들을 다 지우면 [그림 30]과 같이 지구에서 바라본 화성의 움직임을 볼 수 있다.



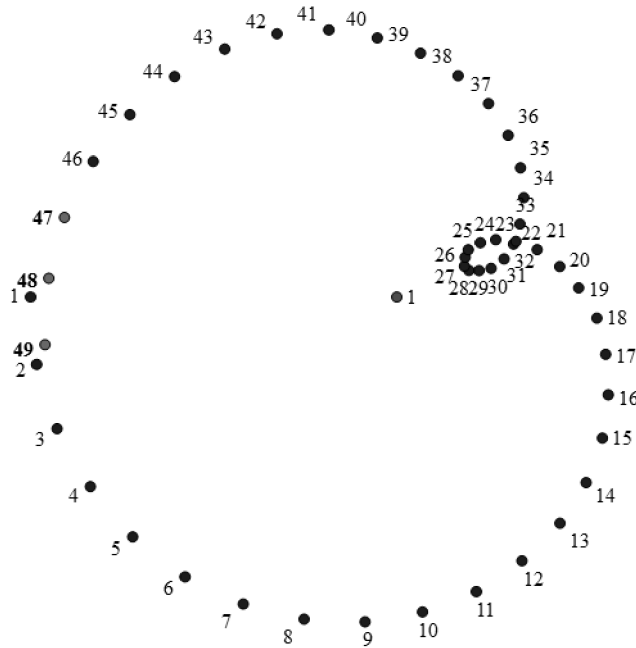
[그림 30] 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도.

2) 지구에 대한 화성의 상대궤도를 이용해서 역행운동을 설명하는 방법

여기서는 별자리가 붙어있는 천구는 고정되어 있지만 태양계의 행성들은 천구와는 별개로 천구의 중심 부근에서 움직이고 있다는 관점으로 설명을 하고자 한다. 그리고 태양을 중심으로 타원운동을 하는 두 행성 중 안쪽 행성에서 바깥쪽 행성을 바라보면 태양을 중심으로 운동하는 행성과 다르게 관찰될 수 있는데 이때 보이는 운동을 태양 중심 모형에서 구하는 방법을 설명하고 보여준다.



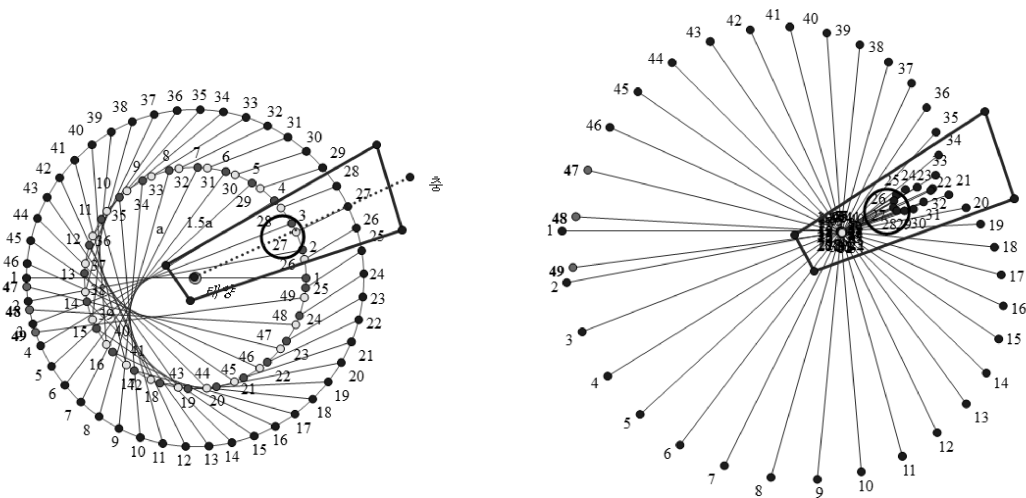
[그림 31] 태양을 중심으로 한 지구와 화성의 궤도.



[그림 32] 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도.

[그림 31]은 태양 중심 모형에서 케플러 법칙에 입각하여 구한 태양에 대한 지구와 화성의 궤도를 보여준다. [그림 32]는 앞서 언급한 태양 중심모형에서 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도를 구하는 방법을 통해서 얻어낸 궤도를 보여준다. 여기서 태양을 중심으로 한 화성의 궤도는 분명 타원궤도로 태양에서 화성의 운동을 바라보면 역행하는 구간이 없다. 하지만 이 운동을 태양을 기준으로 타원운동을 하는 지구에서 바라본 화성의 운동 궤도에는 역행하는 구간이 있다. 이 궤도에서 천구를 도입하지 않고도 바로 역행운동이 관찰되는 이유를 설명할 수 있다. 운동을 표현하기 위한 위치의 기준점에 따라 운동이 다르게 관찰되는 현상으로 역행운동을 설명하는 것이다. 실제로 화성은 지구에 대해서는 역행운동을 하고 있다고 설명할 수 있다. 다만 뉴턴 역학적 관점에서 화성이 지구에 대해 [그림 32]와 같은 운동을 해야 한다는 직접적인 역학적 인과관계는 없다. 태양과 지구, 화성의 역학적 관계에서 지구와 화성의 운동이 태양이라는 거대한 천체에 의해서 결정이 되기 때문에 화성의 운동을 지구에서 바라볼 때 역행할 수 있는 역학적 인과관계는 결국 태양을 중심으로 한 행성의 궤도를 표현하는 케플러 제 1법칙이 된다. 역학적 인과관계는 크지 않지만 지구에 대한 화성의 상대궤도를 이용하면 역행운동과 관련된 몇 가지 현상을 보다 쉽게 설

명할 수 있다. [그림 33]에 나와 있는 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도에서 역행운동이 관찰되는 26번~34번의 위치를 태양을 중심으로 한 지구와 화성의 궤도에서 찾아보면 ‘충’의 위치 근처에서 역행운동이 일어난다는 것을 확인할 수 있다.

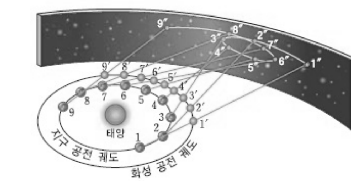

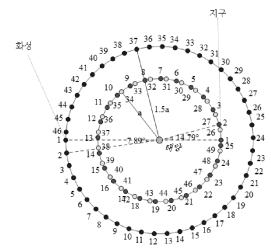
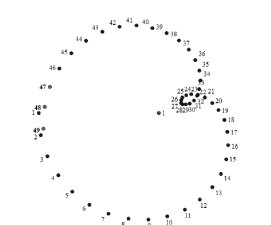


[그림 33] ‘충’ 근처에서 역행운동이 일어나는 이유.

또한 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도에서 화성이 원래 위치에서 15일 마다 지구를 중심으로 이동한 각도가 그림에서 보면 매일 달라짐을 알 수 있다. 이를 통해서 천구 상에서 화성이 하루 간격으로 움직이는 각거리가 달라지는 이유를 바로 확인할 수 있으며 연주운동을 하는 별자리와 다르게 불규칙한 운동을 하는 이유도 설명할 수 있다. 그리고 ‘충’의 위치에서 뿐만 아니라 지구 관찰자에 대한 화성의 궤도 자체를 평면상에 나타냄으로써 ‘충’ 근처가 아닌 다른 위치에서 역행운동이 일어나지 않는 이유에 대해서도 충분히 생각을 해볼 수 있다. 그리고 지구에 있는 관찰자가 바라본 궤도를 통해서 학생들에게 운동의 상대성도 이해시킬 수 있다. 이 방법은 역행운동을 하나 설명함에 있어서 지면을 많이 활용해야 할 수 있으며 탐구활동으로 제시할 때 학생들이 과제를 완성할 때까지 시간이 많이 소요될 수 있다는 단점도 있다. 하지만 교육적 효과를 고려하여 학생의 수준과 교과교육시간에 맞게 내용을 구성하여 제시한다면 학생들이 역행운동과 더불어 천체의 운동을 생각하는데 큰 도움이 될 것이다.

3. 역행운동이 일어나는 원인을 설명하는 방식에 관한 기존 교과서와 새로운 방식의 비교

[표 6] 역행운동의 원인에 대한 설명 비교(기존 교과서와 새로운 방식).

비교내용	기존 교과서	새로운 방식
<p>활용그림</p>  	 	<ul style="list-style-type: none"> 태양 중심 모형에서 태양에 관한 지구와 화성의 궤도를 표시하고 15일 간격으로 지구와 화성을 표시. 공전속도의 차이로 인해 궤도상에 이동 각도 차이 같은 날에 해당되는 지구와 화성에 같은 번호 부여 같은 번호에 해당되는 지구와 화성을 선분으로 이음 각 선분의 지구가 한 점에 모이도록 평행 이동하여 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도를 구함 상대적 궤도상에 나타나는 역행구간으로 역행운동 설명 태양을 중심으로 한 궤도와 비교하며 역행이 일어나는 때가 '충' 전후임을 설명. 상대적 궤도에 나타나는 각도의 불규칙성으로 행성 운동이 별자리의 운동과 다를 것을 설명
<p>설명방식</p>	<ul style="list-style-type: none"> 태양에 대한 지구와 화성의 궤도와 천구를 동시에 표시 '충'의 위치 전후 지구와 화성의 위치를 표시. 같은 번호는 같은 날의 위치 같은 번호에 해당되는 지구와 화성을 선분으로 이고 그 선분을 연장하여 천구 상에 점으로 표시 천구에 나타나는 궤도에 역행운동 하는 구간이 있는 것으로 역행운동의 원인 설명. '충'의 위치 전후에 역행이 일어나는 까닭을 설명 가능하며, 공전속도의 차이로 설명 천구에 나타나는 궤적의 이동간격이 불규칙하게 나타나는 것으로 별자리의 운동과 행성의 운동 차이를 설명 주로 탐구활동으로 제시 	<ul style="list-style-type: none"> 태양 중심 모형에서 태양에 관한 지구와 화성의 궤도를 표시하고 15일 간격으로 지구와 화성을 표시. 공전속도의 차이로 인해 궤도상에 이동 각도 차이 같은 날에 해당되는 지구와 화성에 같은 번호 부여 같은 번호에 해당되는 지구와 화성을 선분으로 이음 각 선분의 지구가 한 점에 모이도록 평행 이동하여 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도를 구함 상대적 궤도상에 나타나는 역행구간으로 역행운동 설명 태양을 중심으로 한 궤도와 비교하며 역행이 일어나는 때가 '충' 전후임을 설명. 상대적 궤도에 나타나는 각도의 불규칙성으로 행성 운동이 별자리의 운동과 다를 것을 설명
<p>장점</p>	<ul style="list-style-type: none"> 자료의 분량이 간결함 천구의 개념에 부합함 	<ul style="list-style-type: none"> 지구에 대한 화성의 전체 운동 파악 가능 역행구간이 쉽게 드러남 운동의 상대성 학습 가능
<p>단점</p>	<ul style="list-style-type: none"> 간결한 자료에 대한 부연설명 필요 겉보기 운동의 의미를 잘못 이해할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 분량이 많아질 수 있음 운동의 상대성을 이해 못하는 학생들이 어려움을 겪을 수 있음

V. 결 론

본 연구에서는 역행운동에 관한 기존 교과서의 자료와 설명방식의 한계를 보완하기 위해서 별자리의 연주운동을 고려하여 역행운동을 생각할 수 있는 시각 자료를 개발하였고, 지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 운동궤도를 도입하여 역행운동을 설명하여 보았다.

Starry-night 프로그램으로 구현한 화면을 캡처하여 제작한 역행운동 시각자료에는 기존 교과서에는 배경으로 제시된 별자리의 연주운동과 화성의 운동이 동시에 제시되므로, 별자리의 연주운동을 고려하여 역행운동을 생각할 수 있게 해주었다. 하지만 사진으로 제시하기에는 그 분량이 많고 학생들이 해석하는데도 시간이 걸리기 때문에 동영상으로 편집하거나 파워포인트 등으로 연속적으로 보여주면서 설명하는 것이 교육현장에서는 더욱 효과적일 것이다. 교과서에 제시한다면 삽화로 제시하기 보다는 관련 영상을 볼 수 있는 사이트를 제시하거나 교사용 자료로 제공하는 것이 바람직하다.

지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도를 태양 중심 모형을 이용하여 구해보면 궤도상에 역행구간이 나타났다. 이 궤도는 천구 상에만 나타나는 궤도가 아니라 지구 관찰자에 대한 실제적인 화성의 운동을 나타낸다. 궤도 자체에 역행구간이 있기 때문에 기존 교과서에 제시된 작도방식을 사용하지 않고도 역행운동을 설명할 수 있었다. 그리고 지구를 중심으로 화성의 전반적인 운동이 나타나 있으므로 궤도 상 같은 기간에 해당되는 화성의 이동 각도가 불규칙한 것을 토대로 행성의 운동이 별자리의 연주운동과 다른 형태를 띤다는 것도 확인할 수 있었다. 또한 지구에 대한 화성의 궤도를 태양을 중심으로 한 지구와 화성의 궤도와 비교하면 ‘충’을 전후로 역행운동이 일어나는 이유도 확인할 수 있었다.

2009 개정 교육과정에서는 행성의 운동을 ‘겉보기 운동’으로 설명하고 있다. 태양에 위치한 관찰자에게는 화성이 타원운동을 하고 있지만 지구에 있는 관찰자가 바라보았을 때에는 역행구간을 포함하는 타원보다 복잡한 운동을 하고 있기 때문이라고 생각한다. 하지만 운동은 운동을 바라보는 관찰자, 즉 운동 기술의

기준점에 따라 다르게 표현되므로 ‘겉보기 운동’이라는 용어 보다는 ‘지구에 있는 관찰자에 대한 화성의 궤도’ 혹은 ‘지구에 대한 화성의 궤도’등의 용어를 사용하는 것이 더 적절하다고 판단된다.

이 논문에서 개발한 자료와 설명방법은 고등학교 이상 수준의 학생들이 역행 운동을 비롯한 행성의 전반적인 운동을 이해하는데 큰 도움이 될 것이라고 생각한다. 따라서 본 연구자는 이 자료와 설명방식을 한 차시 수업에 맞게 편집하고 다듬어 교사용 자료로 제시하거나 교과서에 실어 학생들을 교육하는데 사용하기를 제안한다.

참 고 문 헌

- 강동식 등 9명(2014), 2014학년도 제주대학교 과학영재교육원 사사과정논문집 -
행성의 역행운동 관측과 프톨레마이오스의 주전원 이론에 관한 기
하학적 고찰, 제주대학교 과학영재교육원
- 곽영직 등 8명(2011), 고등학교 과학, 더텍스트
- 김희준 등 9명(2011), 고등학교 과학, 상상아카데미
- 박석재(2003), 해와 달과 별이 뜨고 지는 원리, 도서출판 성우
- 전동렬 등 14명(2011), 고등학교 과학, 미래엔
- 정완호 등 12명(2011), 고등학교 과학, 교학사
- 조현수 등 9명(2011), 고등학교 과학, 천재교육
- 안태인 등 12명(2011), 고등학교 과학, 금성출판사
- 오필석 등 9명(2011), 고등학교 과학, 천재교육
- 이태욱 등 8명(2011), 지구과학 I, 교학사
- 최변각 등 8명(2011), 지구과학 I, 천재교육
- 한국교육과정평가원(2009), 2009 개정 교육과정 과학과 교육과정, 한국교육과정평
가원
- Halliday, Resnick, Walker(2006), Fundamentals of Physics, 7th Edition, John
Wiley & Sons Inc

그림 출처

그림 21. 황도 12궁과 연주운동

- 이태욱 등 8명(2011), 지구과학 I, 교학사 P218

그림 22. 화성의 시운동

- 이태욱 등 8명(2011), 지구과학 I, 교학사 P224

그림 23. 역행운동 원리

- 이태욱 등 8명(2011), 지구과학I, 교학사 P226

그림 24. 역행운동 원리

- 최변각 등 8명(2011), 지구과학I, 천재교육 P250

표 출처

1. 표 3. 2009 개정 교육과정_과학과 교육과정 고등학교 과학 영역과 내용요소

- 한국교육과정평가원(2009), 2009 개정 교육과정_과학과 교육과정, 한국교육과정평가원 P2

2. 표 4. 2009 개정 교육과정_과학과 교육과정 지구과학 I 영역과 내용요소

- 한국교육과정평가원(2009), 2009 개정 교육과정_과학과 교육과정, 한국교육과정평가원 P49