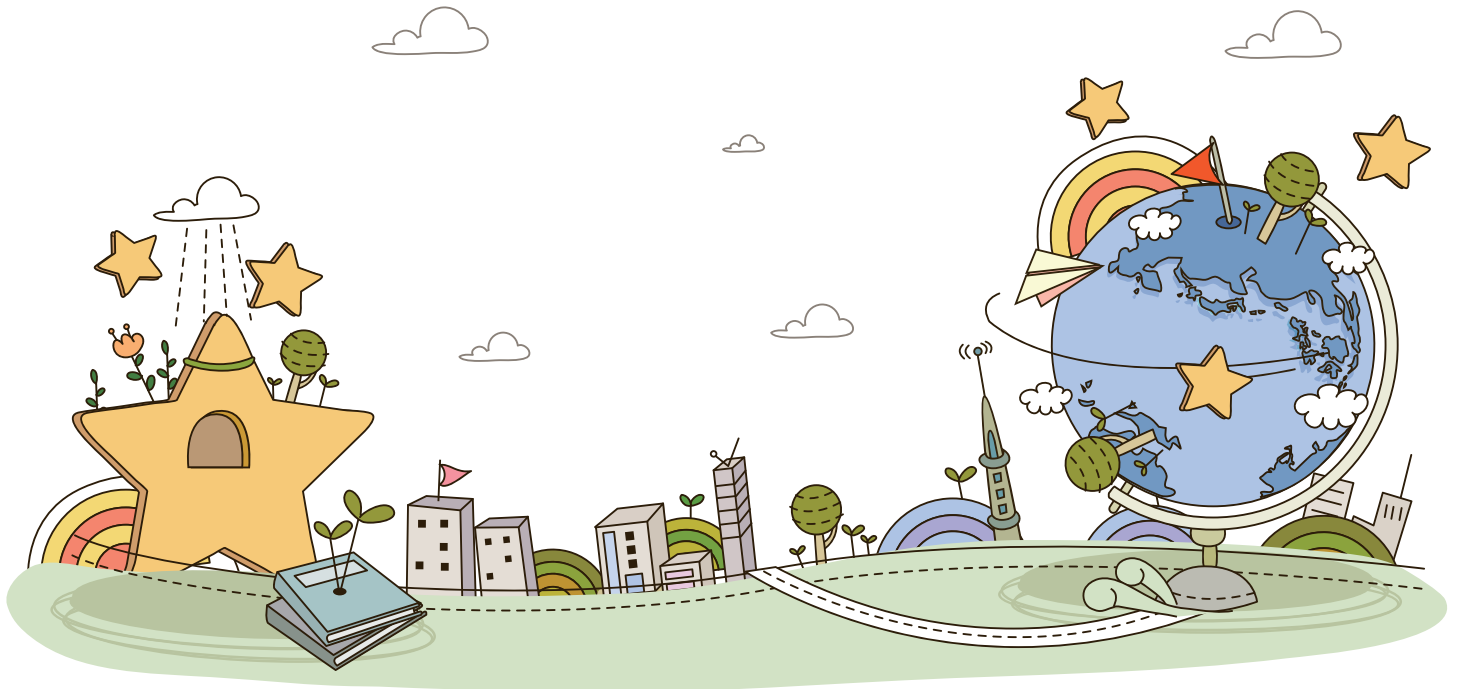
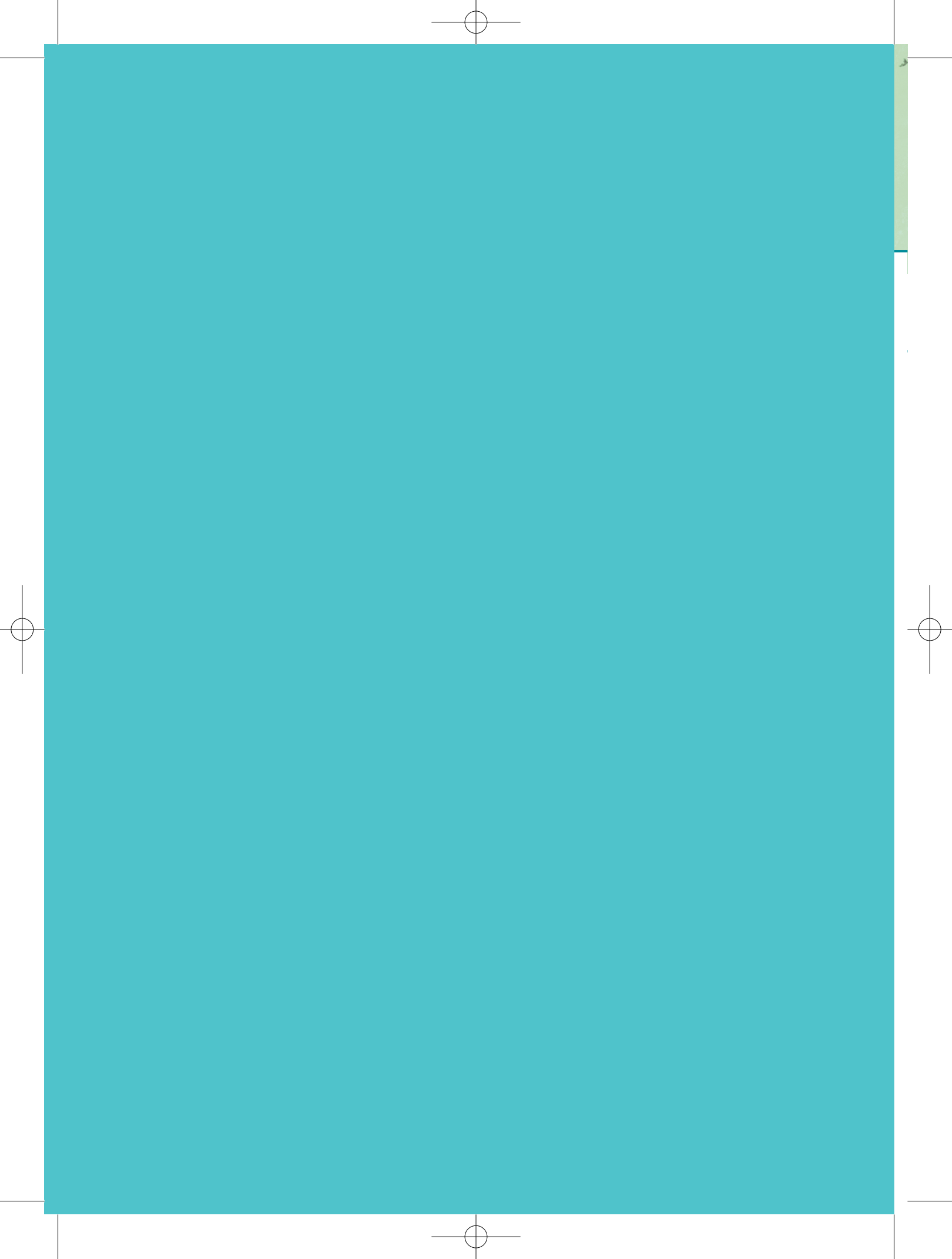


지구과학

심화







머리말

이 교과서는 과학 계열 고등학교 학생들을 대상으로 하여 지구과학의 기초적인 학습을 바탕으로 보다 심화된 내용을 학습하며, 지구과학 현상에 관한 다양한 탐구 활동을 통하여 지구과학의 개념과 원리, 탐구 기능, 창의적 문제 해결력 그리고 과학적 태도를 함양함과 동시에 대학에서 학문을 연구하는데 필요한 기본적인 능력을 기르는데 필요한 지식 및 탐구방법을 습득할 수 있도록 교과서의 내용을 구성하였다.

교과서에 포함된 내용은 살아있는 지구, 지구의 물질과 변화, 대기와 해양, 지구의 환경, 우주 속의 지구로 구성되었으며, 각 영역은 기본에서 심화된 수준에 이르는 실험 내용으로 이루어졌으며, 특히 최근 지구과학 분야에서 중요하게 다루어지고 있는 시사적인 내용, 즉 기후 변화, 엘니뇨, 지구 시스템의 이해 등을 포함한 다양한 현상과 실제 연구 분야 및 연구 동향과 관련된 실험 내용이 많이 포함되도록 하였다.

또한 교과서의 모든 내용을 학습하는 것이 아니라 학생의 수준과 관심 분야 및 학교의 시설 여건에 따라서 학습 내용을 선택하여 학습할 수 있도록 하였으며, 모든 활동은 개별 또는 협동 학습을 활용할 수 있는 모든 실험을 통하여 학생 스스로 연구하여 그 결과를 발표하고 토의함으로써 창의적으로 문제를 해결할 수 있도록 하였다. 또한 최신의 연구 결과 및 사진자료를 첨가하였으며, 직접 실험해 보기 어려운 경우에는 다양한 컴퓨터 프로그램과 시뮬레이션을 이용해 학습할 수 있도록 구성하였다.

이 교과서의 단원별 내용은 지구과학 분야에서 가능한 최신의 연구 결과를 바탕으로 집필자들이 내용을 다듬었으나 부분적으로 미흡한 점이 있을 것으로 생각된다. 이러한 부분들은 지속적으로 수정, 보완해 나갈 계획이다. 끝으로 심화 지구과학 교과서의 내용을 검토하고 조언해 주신 연구 위원과 심의 위원, 그리고 현장 선생님들께 감사드린다.



I 살아있는 지구

1. 지구의 탄생	10
2. 지구의 중력장	14
3. 지구 자기장	18
4. 고지자기와 대륙의 이동	22
5. 해저 확장의 증거	28
6. 판구조론	32
7. 지진파 분석	36
8. 지진파를 이용한 지구 내부 이해	40
9. 지형의 변화	44
10. 지질 구조	48
11. 퇴적 구조	54
12. 지층의 상대 연령	58

II 지구의 물질과 변화

1. 편광 현미경을 이용한 박편 관찰	66
2. 광물의 관찰과 분류	74
3. 광물의 구조	82
4. 화성암과 마그마의 기원	87



5. 화성암의 관찰과 분류	93
6. 퇴적물의 입도와 형태	100
7. 퇴적암의 생성과 분류	109
8. 퇴적 환경	116
9. 변성작용	122
10. 변성암의 분류	128
11. 화석을 통한 고 환경 해석	134
12. 고생물의 진화	139

Ⅲ 대기와 해양

1. 지구시스템의 이해	146
2. 복사 법칙	154
3. 전향력	161
4. 수적의 성장	166
5. 대기의 안정도와 단열선도	170
6. 일기도 작성	175
7. 일기도 분석	179
8. 기상 위성 영상 분석	186
9. 해수면의 경사와 해류	190



10. 열염분 순환	195
11. 조석	199
12. 해저지형 측정	205

IV 지구의 환경

1. 자기권과 태양풍	214
2. 대기환경과 대기의 안정도	218
3. 우리나라 주변 해양 환경	222
4. 엘니뇨	228
5. 기후변화에 관한 자료 해석	232
6. 화석 연료와 대체 에너지 자원	236

V 우주 속의 지구

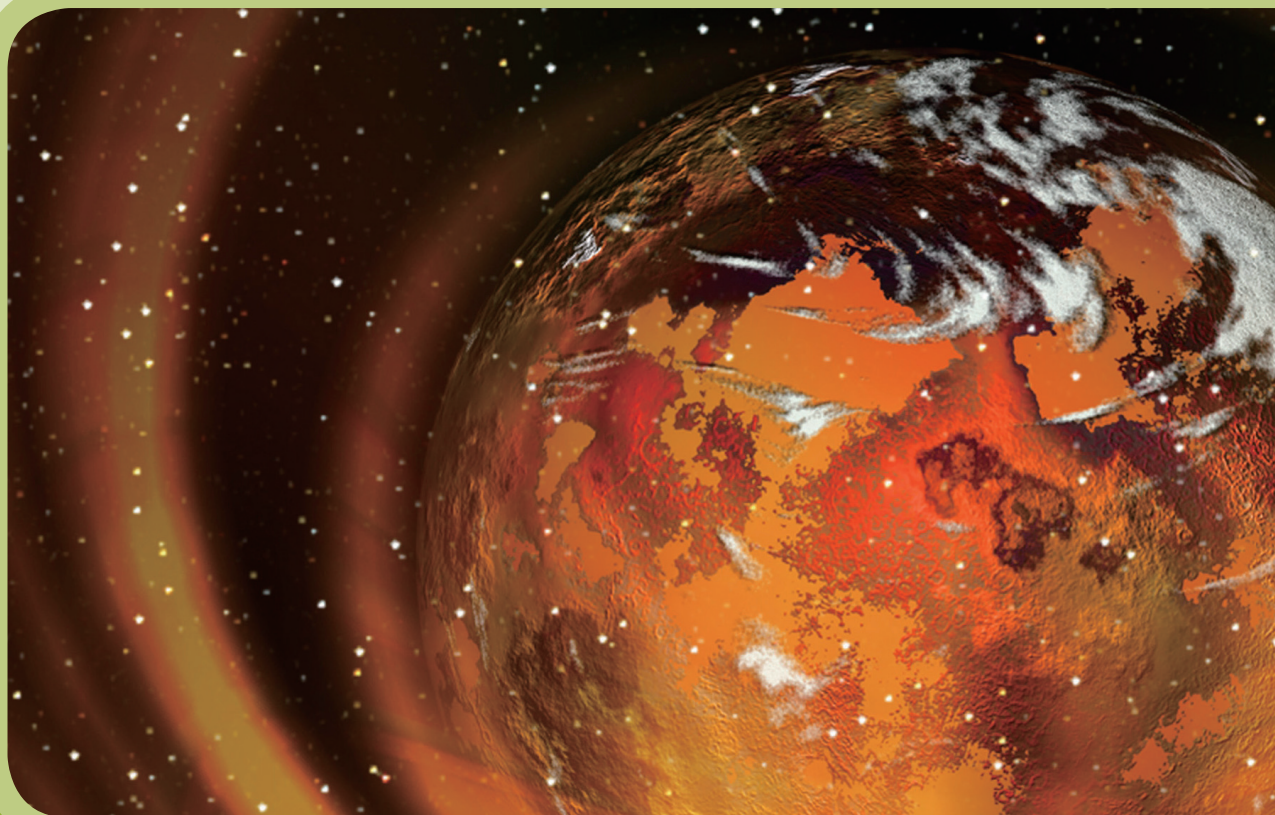
1. 푸코진자	244
2. 시간	250
3. 역서 탐구	258
4. 태양의 방위각과 고도 변화	262



5. 우주 탐사와 태양계	268
6. 행성 궤도와 케플러 법칙	273
7. 좌표계와 별자리	280
8. 천체 관측의 도구	284
9. 달의 관찰	289
10. 별의 스펙트럼	295
11. H-R도로 알아보는 별의 물리적 성질과 일생	303
12. 주계열 맞추기에 의한 성단의 거리	310
13. UBV 측광과 성단의 H-R도	316
14. 세페이드 변광성의 주기 · 광도 관계	321
15. 외부 은하와 은하의 분류	325
16. 허블의 법칙과 우주의 팽창	331

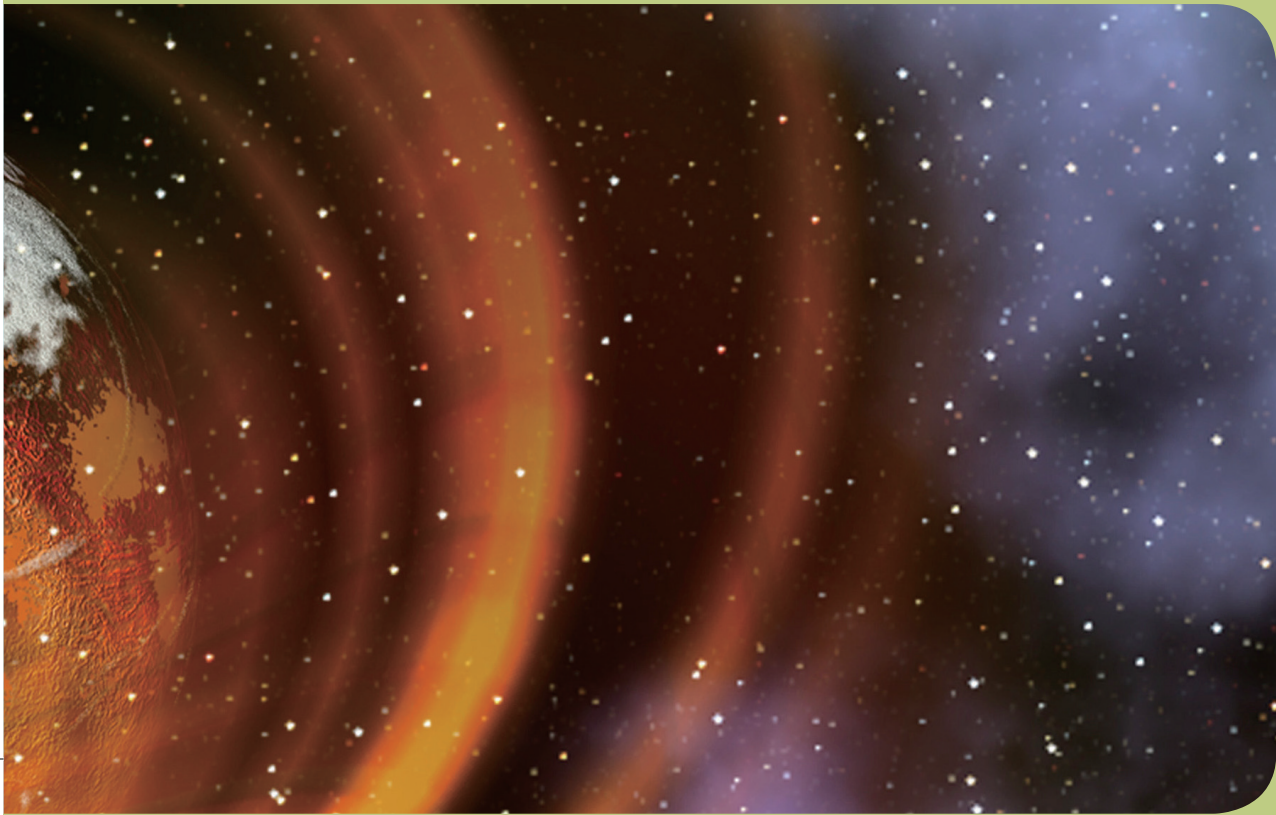
부록

1. 단위 변환	340
2. 주요 광물표	341
3. 일기도 기호 설명	342
4. 천문 상수	343
5. 태양계 물리량	344
6. 사진 출처	345
7. 참고 문헌	348
8. 찾아 보기	351



I

살아있는 지구



〔 단원 안내 〕

지구는 태양계 형성 과정에서 수 많은 미행성이 충돌하면서 여러 단계를 거쳐 현재의 모습을 갖추었으며 지구 내부는 지각, 맨틀, 외핵, 내핵으로 분화되었다. 지구 표면은 여러 개의 판들로 나뉘어져 있으며 판의 움직임에 따라 지진과 화산 활동 등의 지각 변동을 일으키고 끊임없이 지표면을 변화시키고 있다.

살아있는 지구 단원은 지구의 탄생, 판구조론, 지구의 역장, 지형의 변화와 지질구조 등에 대해 기본적인 개념과 그 개념을 적용하기 위한 탐구 활동 그리고 심화된 활동을 위한 창의 탐구로 구성되어 있다. 이 단원에서는 고지자기를 이용한 대륙 이동 및 해저 확장을 설명하고 이를 통해 판구조론에 대해 폭넓게 이해하며, 지진파를 이용해 지구 내부 구조를 알아본다. 또한 지구의 중력장과 자기장에 대해 알아보고, 지형의 변화에 대해 google earth 프로그램을 활용하여 확인하며, 지질 구조와 퇴적 구조를 해석하여 지질학적 사건에 대해 학습한다.

1

지구의 탄생

지구는 어떻게 형성되었을까? 지구의 나이는 얼마일까? 지구상에 살고 있는 사람들은 삶의 터전인 지구의 탄생에 대한 많은 궁금증을 갖고 있다. 현실적으로 과거로 되돌아가 확인할 수는 없지만 현재까지 알려진 수많은 과학적 지식과 관찰 결과를 토대로 추정할 수 있을 것이다. 별, 행성, 성운 및 은하에 대한 관측 결과를 통해 성운에서 태양계의 탄생을 설명하고 있다. 지구 내부의 층상 구조와 구성 물질은 지구의 탄생 초기에서 현재에 이르기까지의 여러 과정을 짐작케 한다. 또한 선캄브리아대에서부터 등장하는 화석의 기록을 통해 생물 진화의 과정을 짐작할 수 있다.

그리스의 사학자인 헤로도투스(Herodotus)는 B. C. 450년에 나일강의 범람으로 퇴적물이 쌓이는 양을 관찰하고 나일강의 삼각주가 현재의 크기로 쌓이는데 수 천 년이 걸렸을 것으로 추정했다. 그 이후 아일랜드의 주교인 어셔(Ussher)는 성서를 바탕으로 우주의 창조는 B. C. 4004년 10월 22일 밤에 이루어졌다고 말했다. 영국의 물리학자 켈빈(L. Kelvin)은 1862년 지구가 태양에서 떨어져 나와서 현재에 이르는 동안에 잃어버린 열량을 지구가 매년 잃어버리는 열량으로 나누어 지구의 연령을 2천만 년 이상 4억 년 미만이라고 했다. 시생대 초기부터 현재까지의 퇴적된 지층 두께는 약 160 km이다. 그런데 1년간 쌓이는 지층의 두께는 1/25~30 mm으로 평균을 1 mm로 한다면 지구의 나이는 1억 6천만 년이다. 한편 육지에 있는 Na이온이 풍화되어 바다의 염분을 형성했다면 해수 중의 Na이온 총량과 매년 바다로 운반되는 Na의 양을 통해 바다의 나이를 계산할 수 있다. 바다에 들어 있는 Na이온의 총량은 약 1.6×10^{16} 톤이고 매년 강을 통해 바다로 운반되는 Na이온의 양은 1.58×10^8 톤으로 바다의 나이는 약 1억 년이 된다. 한편 어떤 물질의 나이를 알아내는 방법으로 현재 널리 사용되는 것은 방사성 동위원소에 의한 연대 측정이며 운석을 이용한 연대 측정 결과 지구의 나이는 약 46억 년으로 측정되었다.

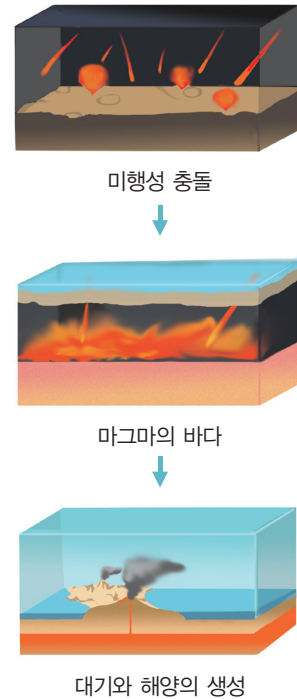
운석이란 지구 바깥에 기원을 둔 물질로서 태양계 내에서 소행성 파편이나 작은 천체가 지구의 중력권에 이끌려 낙하한 것이다. 무게가 1톤 이상 되는 운석은 수년에 한 번 정도로 떨어지고 그보다 작은 것은 매일 하나 정도의 비율로 떨어진다. 운석은 지구가 태어날 당시의 먼 과거 환경을 짐작할 수 있는 시원적 운석인 콘드라이트와 이 시원적 물질이 분화되어 층 구조

를 이론 후 떨어져 나간 부분이 운석이 된 에이콘드라이트(achondrite), 석철질 운석, 철질 운석 등으로 구분된다. 콘드라이트(condrite)는 석질 운석의 일종으로 콘드룰(chondrule)이라 불리는 아주 작은 구형 입자가 존재하며 석질 운석 중 콘드룰이 없으면 에이콘드라이트(achondrite)라고 부른다.

1755년 독일의 철학자 칸트(Kant)는 거대한 가스의 집합체인 성운으로부터 지구와 같은 행성들이 형성되었다는 성운설을 주장했다. 이 성운설은 1796년 수학자인 라플라스(Laplace)에 의해 보완되어 오랫동안 각광을 받았으나 태양계에서 대부분의 질량을 갖고 있는 태양의 각운동량이 매우 작다는 문제에 봉착한 후 잊혀지게 되었다. 1902년 미국의 지질학자인 챔버린(Chamberlin)과 천문학자인 몰턴(Moulton)은 원시태양과 충돌하거나 접근하는 별에 의해 행성이 형성되었다는 조우설을 주장했지만 별이 태양에 접근할 가능성은 매우 희박하다. 1943년 독일의 폰 바이제커(Von Weizsäcker)는 성운 중에서 와류가 생성되어 행성이 만들어진다는 와류설을 주장했다. 1944년에 슈미트(Schmidt)는 태양이 우주공간을 여행하는 도중 우주진운을 만나 그로부터 먼지 같은 고체 입자와 가스를 포획하여 태양 주위에 태양성운을 형성했다는 우주진설을 주장했다.

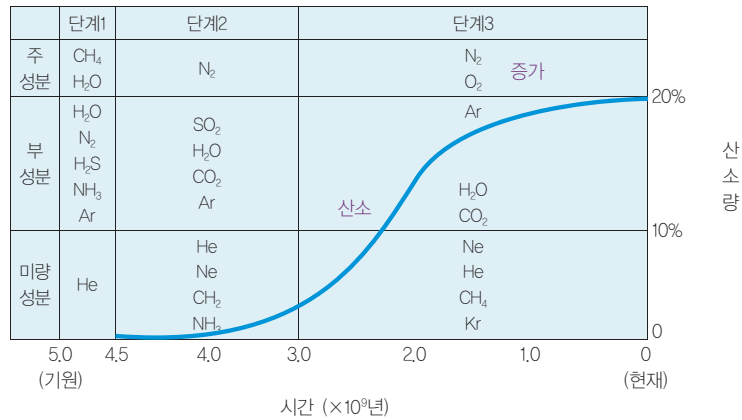
원시지구가 현재 크기의 행성으로 성장하는데 불과 1억 년도 걸리지 않았을 것으로 추정된다. 반경이 현재의 1/2 정도일 때 평균적으로 1년에 약 1,000개 이상의 미행성이 충돌했을 것이다. 충돌에 의한 에너지가 열에너지로 전환되면서 지구 전체가 용융상태인 마그마의 바다로 되었을 것이다. 용융된 이후에는 암석 속의 여러 가지 성분이 중력에 의해 이동하게 되었으며 철과 니켈 같은 무거운 성분은 지구 중심으로 모여서 핵을 구성하고 나머지 성분들이 맨틀을 형성했을 것이다. 이런 미행성의 충돌로 지표에 포함되어 있던 휘발성분은 순간적으로 증발해 버렸을 것이다. 휘발성분 중에서도 특히 많은 것이 수증기와 이산화탄소로 이들이 현재의 금성과 같은 짙은 대기층을 형성했을 것이다. 대기 중에 있던 수증기는 비가 되어 지표를 식히고 지표의 낮은 곳에 채워지며 원시 바다를 형성했을 것이다.

원시 대기는 미행성이 충돌하던 초기 단계에서 CH_4 나 H_2O 등이 주류를 이루다가 분자들 간의 화학반응과 지구 내부에서의 기체 방출로 대기 성분이 변화되어 두 번째 단계에서 N_2 , SO_2 , H_2O , CO_2 등이 대부분을 차지했을 것이다. 그 중 CO_2 는 해양에 녹아들어가고 침전되어 석회암을 만들면서 급속히 줄어들었다. 반면 O_2 는 해양의 광합성세균이 광합성을 통해 산소를 만



〈그림 1-1〉 원시 지구의 진화 과정

들면서 대기 중에 방출되기 시작했고 일부는 O_3 층을 형성하여 육상식물의 출현에 영향을 미쳤을 것이다.



〈그림 I-2〉 원시 대기의 진화 과정

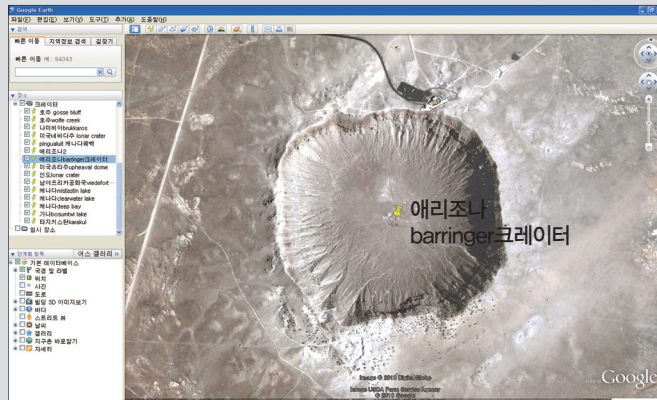
탐 구 활 동

| 준비물 | Google earth 프로그램

지구상에 존재하는 크레이터 흔적 찾기

지구상에는 운석 충돌에 의해 만들어진 수많은 크레이터들이 존재한다. 이런 크레이터를 통해 지구 형성 과정을 유추해 보고 운석 충돌에 의한 에너지를 계산해 보자.

- 1) 크레이터 관련 홈페이지(<http://solarviews.com/eng/tercrate.htm>)에서 지구상에 존재하는 크레이터를 찾아 보자.
- 2) 특징적인 크레이터를 선정해 Google earth 프로그램에 위치를 표시하고 저장하자.



● 크레이터를 표시한 Google earth 프로그램 화면

- 3) 선정된 크레이터의 크기를 측정해 보고 충돌에 의한 에너지를 계산해 보자.

결과 및 토의

1) 인터넷(<http://solarviews.com/eng/crater.htm>)을 검색하여 지구상에 존재하는 크레이터의 이름과 연령을 찾아 시대별로 구분해 보자.

구분	연령					위치				
	1억 년 이하	1억 년 이하 ? 3억 년 미만	3억 년 이하 ? 5억 년 미만	5억 년 이하 ? 7억 년 미만	700만 년 이상	유라시아	아프리카	북미	남미	기타
개수(%)										

2) 특징적인 크레이터의 위치를 표시하고 직경을 측정해 보자.

크레이터 이름	위치(위도, 경도)	직경(km)	특징
Barringer crater			
Manicouagan			
Clearwater lakes			
Chicxulub			
Upheaval Dome			
Rio Cuarto			
Gosses Bluff			
Tenoumer			
Vredefort			

3) Chicxulub 크레이터의 크기와 운석의 추정 밀도($2,700\text{kg/m}^3$), 충돌 추정 속도(20km/s)를 이용해 운동에너지를 계산해 보자.

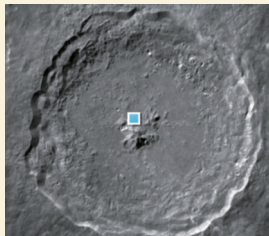


창의 탐구

왼쪽 그림은 운석 충돌에 의한 구덩이이고 가운데 그림은 달에 있는 구덩이이다. 오른쪽 그림은 화산에 의한 구덩이이다. 이 세 자료를 비교하여 설명해 보자.



Barringer 크레이터-미국



티코-달



산굼부리-제주도

2

지구의 중력장

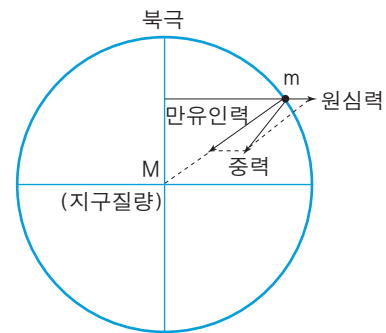
우주 공간에 떠 있는 둥근 지구의 표면에 사람이 살 수 있는 것은 지구의 중력 때문이다. 지표에서의 중력은 지구 자전에 의한 원심력과 지구 중심으로 끌어당기는 만유인력에 영향을 받아 위도마다 다르게 나타나며 기복이 있는 지표에서는 고도차로 인해 중력값이 다르게 나타난다. 중력은 어떻게 나타내며 관측지점에 따라 달라지는 중력을 어떻게 보정하는지 알아보자.

지구상에 있는 물체는 중력을 받는다. 중력은 지구에 의한 만유인력과 지구 자전에 의한 원심력의 벡터 합으로 나타낼 수 있다. 지구와 지표상의 물체 사이에 작용하는 만유인력 F 를 수식으로 나타내면,

$$F = G \frac{M \cdot m}{R^2}$$

여기서 G 는 만유인력상수, M 및 m 은 각각 지구와 물체의 질량, R 은 지구의 반경이다. 즉, 만유인력은 지구의 질량, 물체의 질량, 지구 중심과 물체사이의 거리 즉 지구 반지름 등을 이용하여 구할 수 있다. 중력가속도는 만유인력과 뉴턴의 운동 제2법칙($F=mg$)에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g = \frac{GM}{R^2}$$



〈그림 1-3〉 지구의 중력

지구 표면에서의 중력가속도는 적도 부근의 약 9.78 m/s^2 에서 극지방의 약 9.83 m/s^2 까지 변화를 보인다. 중력가속도의 크기는 흔히 miligals(mGal)의 단위로 표현되며 1 Gal은 1 cm/s^2 이다.

지구의 중력은 진자나 자유낙하 물체 또는 중력계를 이용하여 측정한다. 어느 지점의 중력가속도 g 를 직접 측정하는 방법을 절대 중력 측정이라고 한다. 보통 중력탐사에서는 중력의 절대값을 측정하는 것이 아니라 중력의 상대적인 변화량을 측정한다. 즉, 측정 기준점과 측정점에서의 중력값의 상대적인 차이로 중력을 측정한다.

중력의 측정은 지구상의 여러 지역에서 지구 내부의 질량의 변화를 설명하는 데 사용될 수

있다. 질량 변화를 확인하려면 먼저 관측값으로부터 적도에서 극지방까지의 중력 변화량을 빼야 한다. 즉 측정별 이론 중력값을 계산하고 이를 관측지점에서 얻어진 실측 중력값으로부터 빼주어야 한다. 1979년 국제측지학회에서 제시한 지구타원체 면상에서의 중력공식은 다음과 같다.

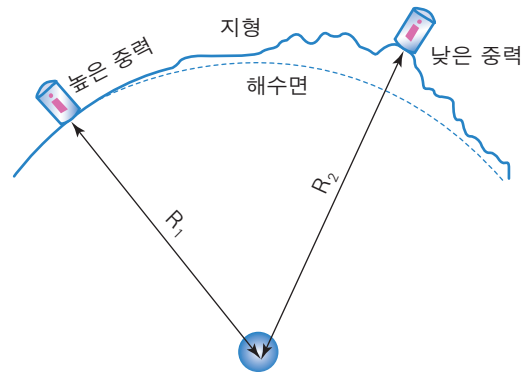
$$g_{\phi} = \frac{ag_e \cos^2 \phi + bg_p \sin^2 \phi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi}}$$

여기서 g_{ϕ} 는 위도 ϕ 인 지점의 표준 중력 a, b 는 지구타원체의 적도 반경(6,378,137m)과 극 반경(6,356,752m), g_e 와 g_p 는 각각 지구타원체의 적도면상의 표준 중력(978,032mGal)과 극에서의 표준 중력(983,218mGal)이다.

각 지점에서 관측한 중력치를 서로 비교하기 위해서는 보정을 해야 한다. 보정된 관측 중력과 표준 중력의 차를 중력이상이라고 한다. 중력의 보정에는 고도 보정, 부우게 보정 등이 있다. 고도 보정은 고도에 의한 지역적인 중력 변화를 보정하는 것이다. 지구 중심으로부터 거리 증가(고도 증가 ΔR)에 따른 중력 변화(Δg)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

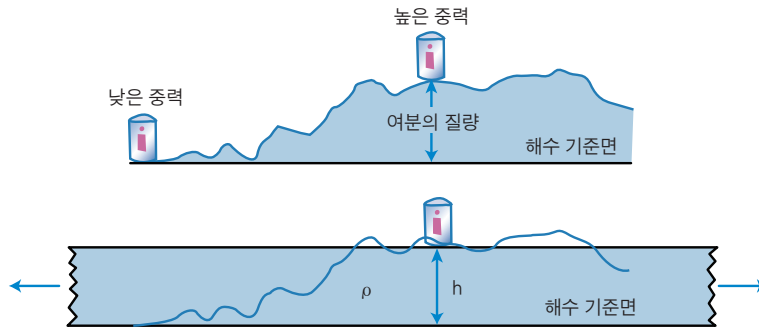
$$\frac{dg}{dR} = -2\left(\frac{GM}{R^3}\right) = \frac{-2g}{R}$$

g 의 평균값을 980,626 mGal로 가정하고 R 을 6,367,000 m라 하면 $\frac{dg}{dR} = 0.308 \text{ mGal/m}$ 로 지구 표면으로부터 3 m 높아질 때마다 중력에 의한 가속도가 1 mGal 정도 감소함을 나타낸다. 서로 다른 고도의 관측점에서의 중력값을 비교하려면 측정값에다 고도 보정값을 더해야 한다.



〈그림 1-4〉 고도 보정

고도에 대한 보정을 한 후에도 관측점과 해수 기준면 사이의 질량 때문에 중력은 측정점에 따라 다르게 나타난다. 고도가 낮은 해수면 부근과 고도가 높은 산간지역을 비교해 보면 산간지역이 해수면 위의 지층 질량에 의해 중력값이 크다. 따라서 해수면 위쪽에 있는 질량에 의한 중력의 증가를 보정해 주어야 한다. 이는 〈그림 1-5〉처럼 물체를 관측지점의 고도와 같은 두께(h)와 밀도(ρ)를 갖는 무한판으로 근사함으로써 가능하다. 이런 판에 의한 인력이 부우게 보정값이며, 그 값은 $2\pi\rho Gh$ 이며 G 와 2π 값을 대입하면 $0.0419\rho h$ (단위 mGal)이다. 이 식은 고도가 9 m 높아질 때마다 측정 중력값이 1 mGal 정도로 증가하고 있음을 말해 준다. 따라서 관측점의 고도가 해수면보다 높으면 이 값, 즉 부우게 보정값 만큼 빼주어야 한다.



〈그림 1-5〉 부우게 보정

탐 구 활 동

준비물 | 전자계산기

중력이상

한 지점에서 측정한 중력은 측정점의 고도와 지하 물질의 상태에 영향을 받는다. 따라서 이런 영향을 보정할 필요가 있다. 여러 지점에서 측정한 중력값을 이용해 중력을 보정하고 중력이상을 확인해 보자.

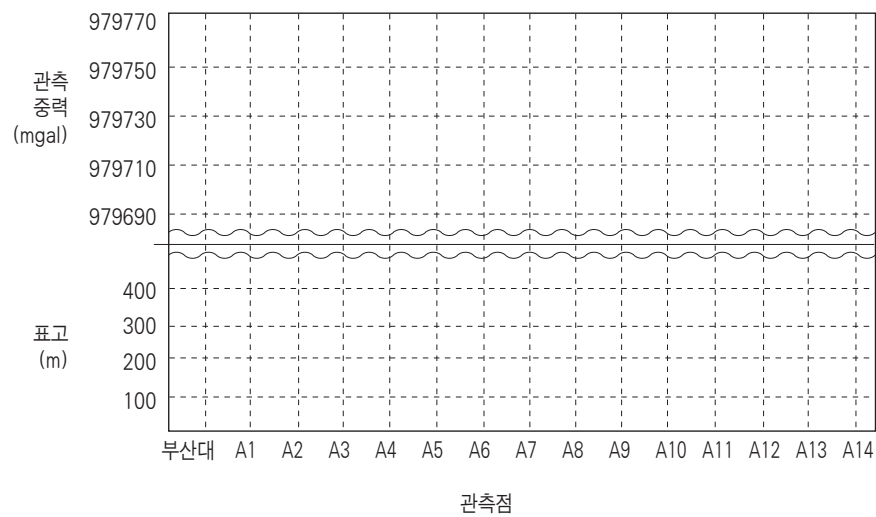
다음 자료는 1996년 부산대학교 및 그 인근 지역에서 측정한 중력 자료이다.

지점	위도	경도	표고(m)	관측중력(mGal)	표준중력(mGal)	고도 보정(mGal)
부산대	35.2301	129.0833	52.57	979759.93	979753.31	16.22
A1	35.2308	129.0803	103.10	979749.69	979753.89	75.87
A2	35.2328	129.0747	158.04	979738.62		
A3	35.2353	129.0731	211.13	979727.92		
A4	35.2368	129.0707	245.84	979720.99		
A5	35.2394	129.0699	311.86	979707.48		
A6	35.2403	129.0667	380.59	979694.24		
A7	35.2388	129.0638	398.46	979690.57		
A8	35.2429	129.0586	326.15	979706.41		
A9	35.2481	129.0507	255.86	979720.40		
A10	35.2463	129.0429	200.16	979732.11		
A11	35.2456	129.0379	159.94	979738.19		
A12	35.2428	129.0349	121.42	979745.72		
A13	35.2409	129.0313	82.35	979752.70		
A14	35.2383	129.0236	27.79	979764.46		

- 1) 지구타원체에서의 표준 중력값은 공식을 이용하여 계산한다.
- 2) 고도 증가(ΔR)에 따른 중력변화(Δg)는 $-2g/R$ 로 표현되며 그 값은 0.308 mGal/m이다. 각 지점의 표고를 고려하여 고도 보정값을 계산한다.
- 3) 측정된 중력값과 표준 중력값을 고려하여 중력이상을 구하고 지형과 비교한다.

결과 및 토의

- 1) 위의 표에 표준 중력값을 계산하여 기록해 보자.
- 2) 위의 표에 고도 보정값을 계산하여 기록해 보자.
- 3) 계산 결과를 이용하여 지형 변화와 관측중력의 변화를 그림으로 그려 설명해 보자.

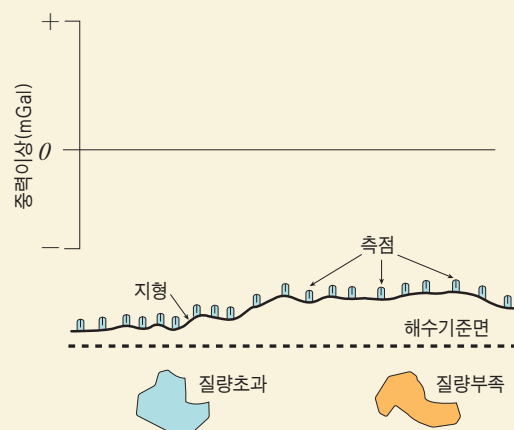


- 4) 적도와 극 지역에서 표준 중력은 각각 얼마인지 계산해 보자.



창의 탐구

중력값은 지하 물질의 밀도와 측정 지점의 위치에 따라 다르게 나타날 수 있다. 아래 그림에 고도 이상과 부우게 이상을 추정하여 함께 나타내고 비교하여 설명해 보자.

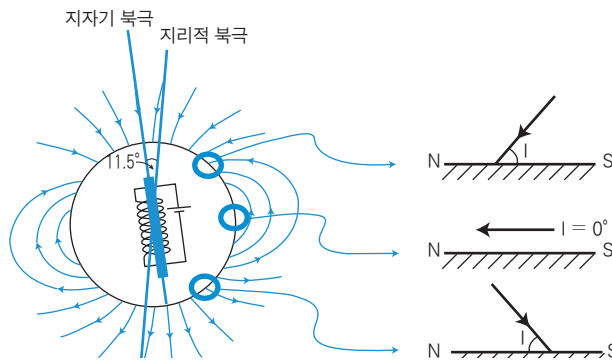


3

지구 자기장

지구는 마치 하나의 커다란 자석처럼 자기장이 형성되어 있으며 지구상에 존재하는 자성물질은 지구 자기장의 영향을 받게 된다. 지구 자기장을 이용해 나침반이 발명되어 사용되고 있다. 지구자기장은 어떤 요소로 구성되어 있으며 지구자기장이 지구물리탐사와 대륙 이동, 해저확장 등에 어떻게 이용되고 있는지 알아보자.

지구 내부 자기장의 약 90%는 지구의 회전축으로부터 11.5° 기울어진 자기쌍극자로 설명될 수 있다. 자기장은 크기와 방향을 가지는 벡터로 구성되어 있으며 나침반의 바늘이 바로 지구 자기장의 방향을 가리키고 있다. 북각(i)은 나침반의 바늘이 수평면과 이루는 각으로 나침반 바늘이 자북에서는 지면을 향하고(+90°), 자남에서는 위 방향을 향하여(-90°) 각기 수직임을 나타낸다. 자기적도에서는 나침반의 바늘이 지면에 수평으로 북각이 0°이다.



〈그림 1-6〉 편각과 북각

나침반의 바늘과 지리적 북극(진북) 사이의 각이 편각(δ)이다. 자북은 대체로 미국의 중양과 지리적인 북극을 연결하는 선상에 놓여 있으므로 이 선상에서만 나침반의 바늘이 진북을 향한다. 수직방향에서 약간의 차이를 보이는 중력과 달리 지구자기장의 경우는 방향에 대한 정보가 매우 중요하다. 전체 자기장 벡터의 크기(F)는 다음과 같으며 〈그림 1-7〉처럼 표현된다.

$$F = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} = \sqrt{F_N^2 + F_E^2 + F_V^2}$$

(F_H : 전체 자기장 벡터의 수평 성분 크기, F_N : 수평벡터의 북쪽 성분 크기, F_E : 수평벡터의 동쪽

성분 크기, F_V : 전체 자기장 벡터의 수직 성분 크기)

복각(i)과 편각(δ)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i = \tan^{-1}(F_V/F_H)$$

$$\delta = \tan^{-1}(F_E/F_N)$$

또한 자기능률이 M 인 쌍극자가 지구 중심 자전축 상에 놓여있을 때, 위도가 ϕ 인 지표상의 한 점 S 에 자기장의 수평 성분 F_H , 연직 성분 F_V , 전체 자기장 벡터의 강도(F)는 다음과 같이 표현된다.

$$F_H = \frac{M \cos \phi}{R^3}$$

$$F_V = \frac{2M \sin \phi}{R^3}$$

$$F = \frac{M \sqrt{1 + 3 \sin^2 \phi}}{R^3}$$

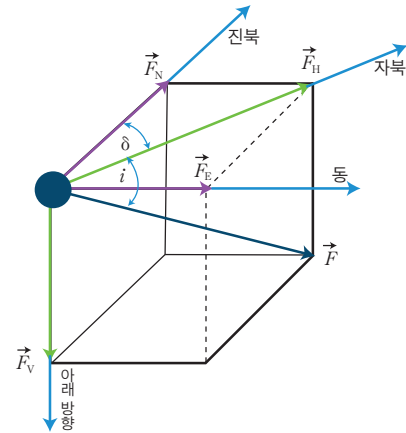
(M : 자기모멘트, R : 지구반경, M/R^3 : 자기 적도에서 전체 자기장 강도, $\phi = 90^\circ - \theta$: 자기위도)

전체 자기장의 강도를 표현하는 식에 의하면 자기장은 $1/R^2$ 로 감소되는 중력장과는 달리 $1/R^3$ 의 비율로 강도가 감소된다. 또한 전체 자기장의 강도는 자기 적도($\phi=0$)에서 M/R^3 값이 30,000nT 정도 되며 자극($\phi=90$)에서는 약 60,000nT로 자기 적도의 두 배 정도 된다.

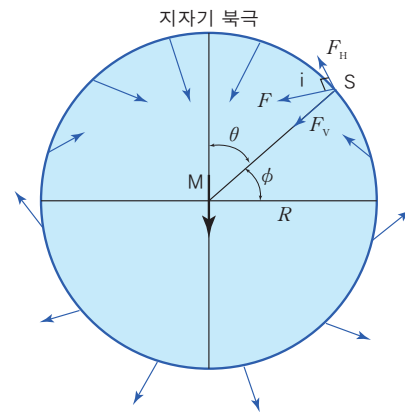
1전자단위의 자극에 작용하는 힘이 1 다인(dyne)인 자기장의 세기를 1 엘스텟(oerst) 혹은 1 가우스(Gauss)라고 한다. 가우스는 너무 큰 단위이기 때문에 약한 자기장을 나타낼 때는 감마(γ)라는 단위를 사용한다. 1 가우스는 $10^5 \gamma$ 이다. 국제단위계에서는 자속밀도의 단위인 Wb/ m^2 을 자기장의 단위로 사용하며 테슬라(Tesla)라고 부르기도 한다.

$$1 \text{ Gauss} = 10^5 \gamma = 10^{-4} \text{ T}, 1 \gamma = 10^{-9} \text{ T} = 1 \text{ nT(나노테슬라)}$$

편각을 측정하는 고전적인 방법은 막대자석을 매달아 자침이 향하는 방향을 천체 관측에서



〈그림 1-7〉 자기장의 벡터 성분



〈그림 1-8〉 지구 자기장의 수평 성분(F_H)과 연직 성분(F_V)

정해지는 진북과 비교하여 편각을 측정한다. 북각은 고전적으로 북각계를 이용하여 측정한다. 지구 자기장은 쌍극자만에 의한 것이 아니므로 실제 북자극과 남자극을 연결하는 직선은 지구 중심을 통과하지 않는다. 지구 중심에 있다고 가상되는 쌍극자는 실제로는 지구 외핵에 흐르는 전류에 의해 만들어진다.

탐 구 활 동

| 준비물 | 전자계산기

지구자기 3요소

지구는 마치 하나의 커다란 자석처럼 자기장이 형성되어 있으며 위치별로 지구자기 3요소가 달라진다. 지구 자기장의 3요소에 대해 알아보자.

지구 자기장의 3요소는 편각, 북각, 수평분력이며 아래 자료는 각각의 요소와 관련된 내용이다.

편각 $\delta = \tan^{-1}(F_E/F_N)$, 북각 $i = \tan^{-1}(F_V/F_H)$

자기장 벡터의 수평 성분 $F_H = \frac{M \cos \phi}{R^3}$

자기장 벡터의 수직 성분 $F_V = \frac{2M \sin \phi}{R^3}$

전체 자기장 벡터 성분 $F = \frac{M \sqrt{1 + 3 \sin^2 \phi}}{R^3} = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$

아래에 주어진 자기위도에서의 자기장 값들을 구해 보자. (단, $\frac{M}{R^3} = 30,000 \text{ nT}$ 로 가정함)

	북각(i)	F_H (수평성분)	F_V (수직성분)	전체자기장 F
자기 적도 ($\phi=0^\circ$)				
자기 위도 30° ($\phi=30^\circ$)				
자기 위도 60° ($\phi=60^\circ$)				
자기 북극 ($\phi=90^\circ$)				

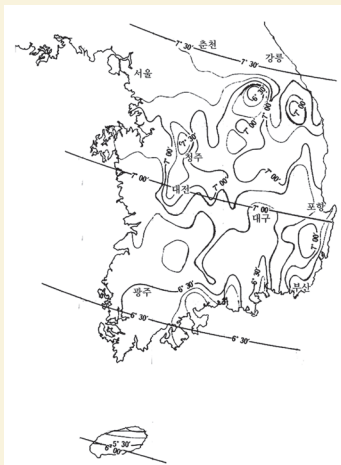
결과 및 토의

- 1) 자기 적도에서 자기 북극으로 갈수록 북각은 어떻게 변하는가?
- 2) 자기 적도에서 자기 북극으로 갈수록 자기장의 수평성분은 어떻게 변하는가?
- 3) 자기 적도에서 자기 북극으로 갈수록 자기장의 수직성분은 어떻게 변하는가?



창의 탐구

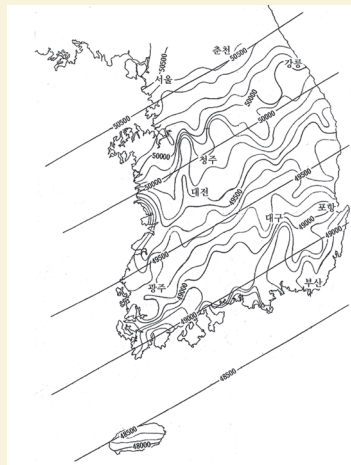
아래 자료는 우리나라의 편각, 북각, 전자력의 분포를 나타낸 것이다.



자기 편각도



자기 북각도



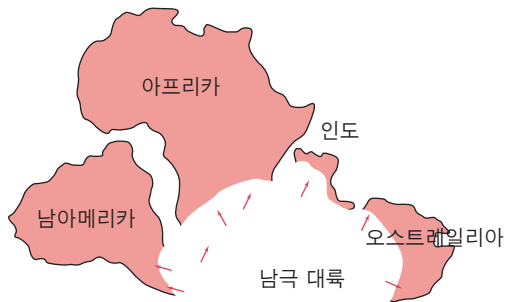
전자력도

- 1) 우리나라 자기 편각 분포의 특징과 변화 경향을 설명해 보자.
- 2) 우리나라 자기 북각 분포의 특징과 위도에 따른 자기 북각의 변화 경향을 설명해 보자.
- 3) 우리나라 전자력 분포의 특징과 위도에 따른 전자력의 변화 경향을 설명해 보자.

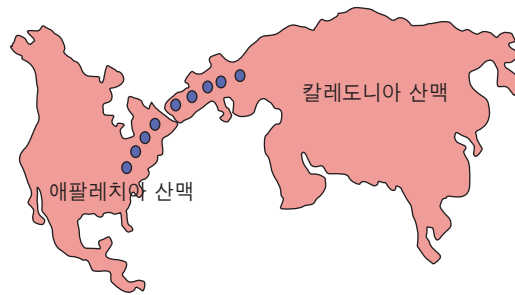
4

고지자기와 대륙의 이동

태양이 지구 주변을 돌고 있다는 기존의 천동설을 뒤집어 지구가 태양 주위를 돌고 있다는 지동설을 주장한 사람이 코페르니쿠스(Copernicus)이다. 지질학에서도 고정되었다고 여겨지던 기존의 대륙은 이동할 수 있다고 주장한 사람이 베게너(Wegener)이며 코페르니쿠스처럼 높이 평가할 만한 사람이다. 베게너의 초기 주장과 대륙의 이동을 뒷받침할 고지자기적인 방법에 대해 알아보자.



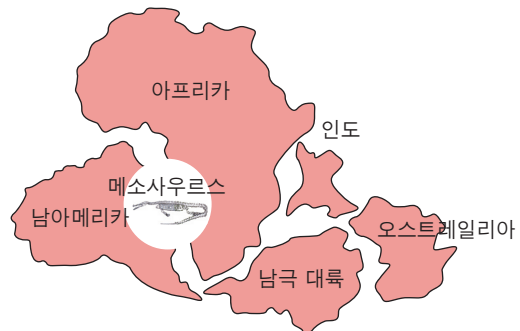
(가) 빙하의 흔적



(나) 지질 구조의 연속성



(다) 해안선의 일치



(라) 화석의 일치

〈그림 1-9〉 대륙 이동의 증거

독일의 과학자인 베게너는 세계의 여러 대륙들이 고생대 말까지 하나의 커다란 대륙인 판게아(pangaea)로 구성되어 있었으며 약 2억 년 전인 중생대 초기부터 분리되기 시작했다는 대륙 이동설을 주장하였다. 베게너는 <그림 1-9>처럼 대륙 이동의 증거로 대서양 양쪽 연안의 암석, 지질구조 및 화석의 유사성 등을 제시하였다. 즉, 북아메리카의 애팔래치아 산맥은 스코틀랜드의 칼레도니아산맥과 연결되고, 남극 대륙, 오스트레일리아 및 남아프리카 대륙에서 유사한 식물 화석이 산출되고 있다. 또한 인도, 아프리카, 남아메리카, 오스트레일리아에 고생대 말 빙하의 흔적이 발견되었으며 주로 열대 지방에서 생성되는 석탄층이 남극 대륙에서도 발견되었다. 일부 고생물학자들은 두 대륙의 화석이 일치하는 것을 설명하기 위해 두 대륙이 대서양을 사이에 두고 육교와 같은 가늘고 긴 육지로 연결되어 있었다는 육교설을 주장하기도 했다. 베게너는 대륙을 움직일 수 있는 힘의 원동력으로 조석현상, 극과 적도의 중력차 등을 제시했지만 커다란 대륙을 이동시킬 원동력에 대한 합리적인 설명을 못해 대륙이동설은 당시에 받아들여지지 못했다.

그 후 1928년 홈즈(Homles)에 의해 지구 내부의 유동성에 의한 맨틀 대류가 대륙을 움직일 수 있는 원동력으로 주장되었다. 맨틀 물질이 상승하는 곳에서는 위에 있는 대륙을 분리시키고 해저에서는 해령이 형성되며 대양저가 발달한다고 주장했다. 사장되던 대륙이동설에 관심을 갖게 된 것은 영국에 분포한 퇴적암에 대한 고지자기 연구 때문이다. 고지자기란 과거의 지구자기장이 그 시대의 암석 속에 보존되어 있는 것을 말한다. 이 연구는 약 1억 5천만 년 전의 중생대 트라이아스기의 적색 사암에 대한 잔류 자기 방향을 측정한



<그림 1-10> 겉보기 자기극 이동 경로

것으로 적색 사암이 형성될 당시 영국은 현재보다 훨씬 저위도에 있었음을 알 수 있었다.

마그마가 식어 화성암이 될 때 또는 퇴적물이 물 속에 퇴적되어 퇴적암이 만들어질 때 이들 암석은 그 당시의 자기장을 기록하게 된다. 오랜 지질시대를 통해 지리상의 극과 자기극이 서로 일치한다고 가정하면 이 암석의 북각과 편각을 이용하여 암석이 생성될 당시의 고지자기극의 위치를 알 수 있다. 또한 이 암석의 북각을 이용해 당시 암석이 위치한 고위도(古緯度)를 알 수 있다. 이때 북각(i)과 위도(λ)와의 관계는 다음과 같다.

$$\tan i = 2 \tan \lambda$$

〈그림 1-10〉은 과거 5억 년 동안 유라시아 대륙과 북미 대륙에서 측정한 자북극의 겉보기 이동 경로를 나타낸 것이다. 같은 시대에는 지구상에 자북극이 하나만 존재해야 한다. 그러나 약 5억 년 전에는 두 대륙에서 측정한 자북극이 5,000 km나 떨어져 있으며 현재에 가까워질수록 그 차이는 줄어든다. 즉 과거에는 지구상에 자북극이 두 개 존재했다는 결론에 도달하게 된다. 만약 대륙의 이동이 없고 지질시대에 따라 극의 위치만 변화하였다면 두 대륙의 겉보기 극 이동 경로는 같아야 한다. 그러나 두 대륙의 겉보기 극 이동 경로가 다른 것은 두 대륙이 상대적으로 이동했음을 암시한다. 두 개의 극 이동곡선을 약 30°회전시키면 거의 일치하게 된다. 즉 과거에 대서양은 닫혀 있다가 두 대륙이 이동하면서 현재의 모습으로 변했다. 이러한 결과는 대륙이동설을 부활시키는 결정적인 요인으로 작용했다.

탐 구 활 동 (1)

1 준비물 1 공학용 계산기, 각도기, 자

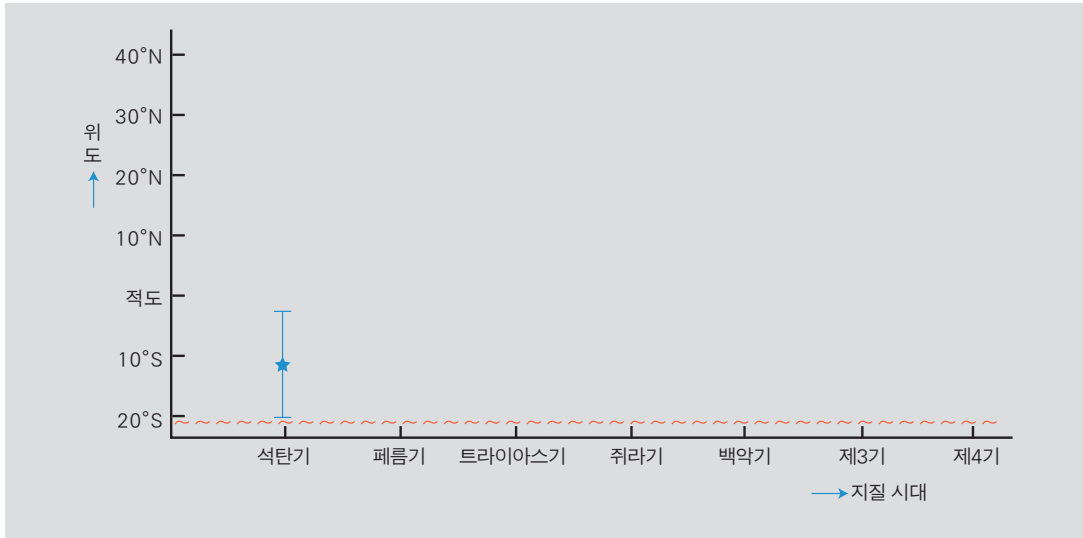
한반도의 이동과 형성

암석에 기록된 고지자기 자료를 이용하여 암석이 형성될 당시의 고위도를 알 수 있다. 우리나라의 지질 시대별 고지자기 자료를 이용하여 암석을 채취한 곳이 어떻게 이동했는지 알아보자.

다음 자료는 우리나라 고생대의 석탄기, 페름기, 중생대의 트라이아스기, 쥐라기, 백악기 및 신생대의 제3기, 제4기 퇴적암을 여러 장소에서 채취하여 측정된 고지자기 복각을 시대별로 평균한 것이다.

시대	중기 석탄기	페름기	초기 트라이아스기	쥐라기	백악기	제3기	제4기
시료 채취지역의 평균 위도	37.0°N	37.0°N	37.0°N	36.0°N	36.0°N	35.0°N	33.5°N
각 지역에서 예상되는 복각	56.4°						
암석으로부터 구한 복각	-22.3°	-12.2°	7.2°	55.1°	57.4°	56.4°	55.5°
고위도	8.1°	10.4°	8.2°	5.2°	3.7°	6.7°	2.4°
95% 신뢰한계							

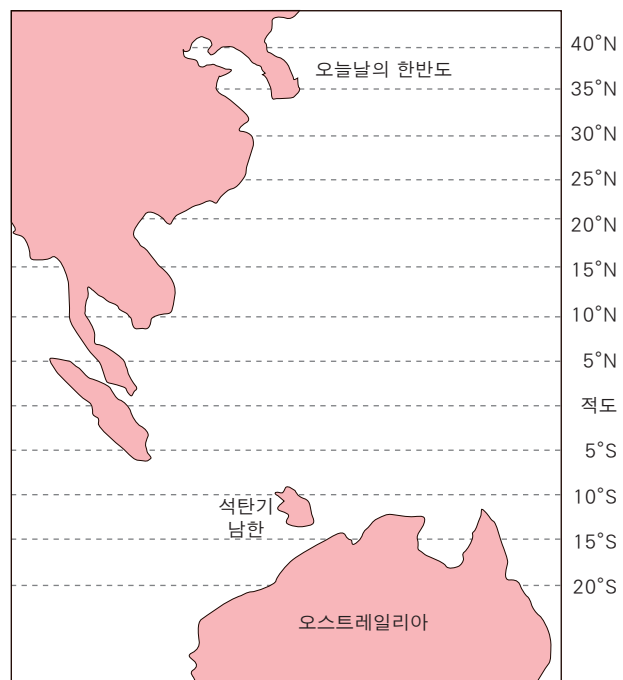
- 1) 암석 시료 채취 지역의 위도에서 예상되는 복각을 공학용 계산기를 활용하여 계산하고 표에 기록해 보자.
- 2) 각 지질시대 별 암석의 복각으로부터 한반도의 고위도를 계산하여 위 표에 기록해 보자.
- 3) 석탄기에 대하여 예시한 것과 같이 아래 그래프에 각 지질 시대별 고위도를 별표(★)로 표시하고 95% 신뢰한계를 수직선으로 그리시오.



결과 및 토의

1) 한반도가 현재의 위치(위도 35°N~37°N)에 도달한 시기는 언제인가?

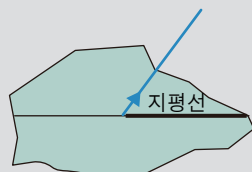
2) 아래 지도는 오늘날의 동부아시아와 오스트레일리아를 그린 지도이다. 지질시대별로 한반도 남한의 위치를 그리시오.
(아시아를 구성하는 육괴들도 서로 다른 시기에 북으로 이동하여 왔으나 편의상 한반도를 제외한 다른 육괴들은 오늘날의 위치에 계속 있었다고 가정한다.)



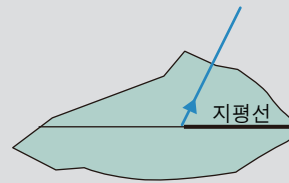
인도 대륙의 이동과 히말라야 산맥의 형성

암석에 기록된 고지자기 자료를 이용하여 암석이 형성될 당시의 고위도를 알 수 있다. 인도대륙의 지질 시대별 고지자기 자료를 이용하여 인도 대륙의 이동과 히말라야 산맥의 형성에 대해 알아보자.

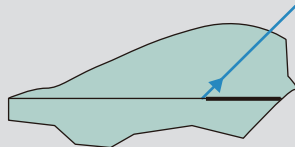
그림은 인도 중앙부의 한 지역에서 채취한 6개의 암석 시료이다. 각 시료별로 수평선에 대한 잔류자기의 방향이 도시되어 있고, 절대 연령값이 주어져 있다. 이 자료를 이용하여 다음 물음에 답해 보자(단, 지질시대를 통해 인도대륙은 남북방향으로만 움직였다고 가정한다).



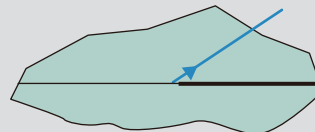
시료 A, 2억 2천 5백만 년



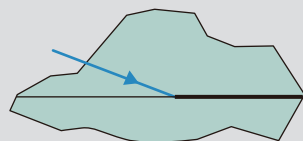
시료 B, 2억 년



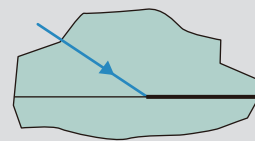
시료 C, 8천만 년



시료 D, 6천만 년



시료 E, 2천만 년



시료 F, 현재

결과 및 토의

1) 6개의 시료에 나타난 복각을 각도기로 측정하여 고위도를 계산해 보자.

시료	A	B	C	D	E	F
복각						
고위도						

2) 인도 대륙의 이동 속도를 계산해 보자. (위도 1°간 거리를 110km로 가정 하자.)

구간	A~B	B~C	C~D	D~E	E~F	평균
거리(km)						
시간($\times 10^6$ 년)						
속도(km/ 10^6 년)						

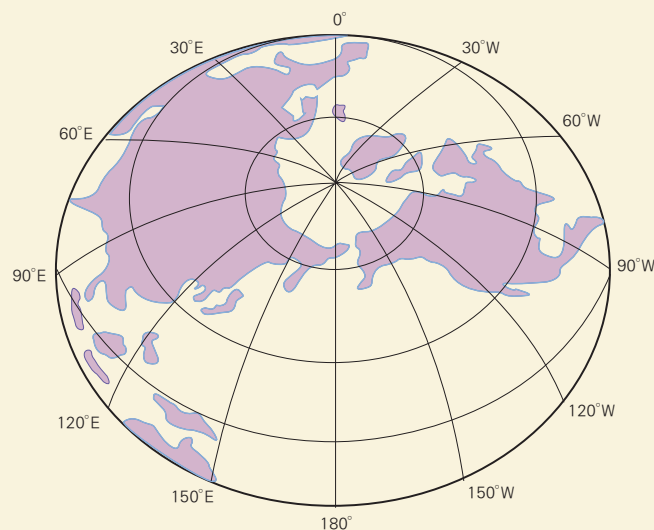


창 의 탐 구

〈표〉 시기별 대륙의 평균 고지자기 북극

구분	북아메리카	유럽	시베리아	아프리카	오스트레일리아
제3기	86N 158W	75N 179E	81N 131W	83N 115E	70N 56W
백악기	69N 168W	85N 176W	70N 168E	71N 109W	53N 31W
쥐라기	68N 147E	77N 139W	70N 148E	67N 109W	45N 37W
트라이아스기	65N 96E	52N 141W	62N 153E	69N 104W	53N 28W
페름기	49N 120E	49N 169E	63N 177W	43N 97W	41N 41W
석탄기	37N 125E	37N 166E	45N 170E	40N 145W	62N 29W

1) 위 표를 보고 아래 그림에 지질 시대에 따른 대륙별 고지자기 북극을 표시하고 선으로 연결해 보자.



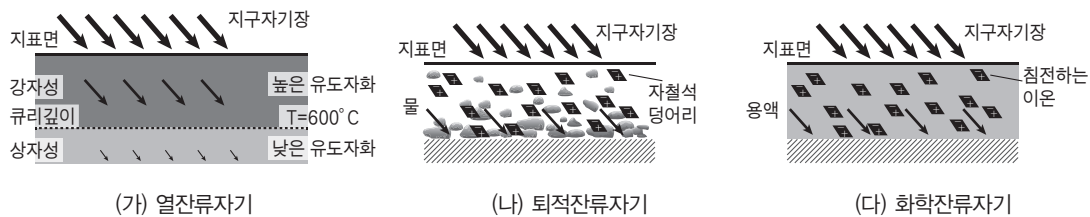
2) 같은 지질 시대에 여러 대륙의 고지자기 북극의 위치가 다르게 나타나는 이유를 설명해 보자.

5

해저 확장의 증거

대륙 이동설과 맨틀 대류설의 뒤를 이어 나타난 것이 해저 확장설이며 이는 고지자기를 통해 증명되었다. 고지자기에 대해 익히고 암석 속에 있는 잔류자기를 이용해 해저 확장설을 어떻게 설명할 수 있는지 알아보자.

암석들은 반자성체, 상자성체 그리고 강자성체의 조합으로 이루어져 있다. 반자성체와 상자성체 물질은 외부자기장에 노출되면 자화가 일어나며 만일 외부자기장이 제거되면 자화현상이 사라진다. 그러나 강자성체 물질은 외부자기장에 노출되면 강하게 자화되고 외부자기장이 제거되어도 자화 상태를 영구적으로 유지하게 되며 이를 잔류자기라 한다. 강자성체 물질이지만 고온상태에서 상자성체적인 성질을 보이는 자철석과 같은 물질은 큐리온도 이하로 냉각되면 다시 강자성체로 변한다. 이때 자기요소들이 주변의 지구자기장과 같은 방향으로 정렬됨으로써 현저한 잔류자기를 가지게 되는데 이를 열잔류자기(thermoremanent magnetization)라 한다. 물속에서 퇴적물이 퇴적될 때는 자철석과 적철석 같은 강자성 물질의 입자들이 당시의 지구자기장 방향을 따라 정렬되는 경향이 있다. 이때 형성된 잔류자기를 퇴적잔류자기(detrital remanent magnetization)라 한다. 금속이온이 침전되어 강자성 광물이 형성될 때는 광물 결정 안에 있는 자기 요소들은 우선적으로 당시의 지구자기장을 따라 정렬된다. 이와 같이 생성된 잔류자기를 화학잔류자기(chemical remanent magnetization)라 하며 일반적으로 금속물질이 많은 대륙 지역의 퇴적암 내에 형성된 고지자기는 화학잔류자기를 띤다.

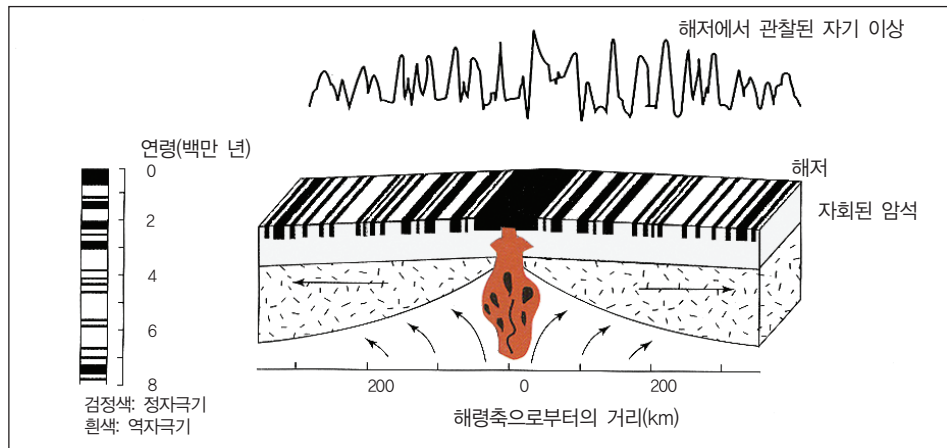


〈그림 I-11〉 잔류자기

암석의 잔류자기는 암석이 생성된 당시의 자기 방향에 대한 정보를 기록하고 있다. 일부 화산암은 현재 지구자기장과 반대 방향으로 자화되어 있다. 이런 현상은 이들 화산암이 분출되

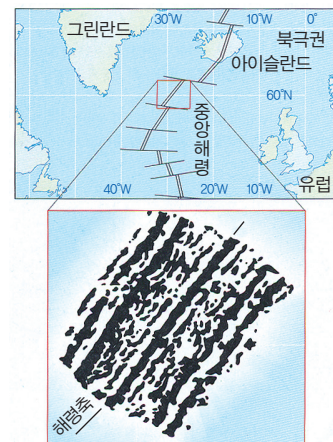
고 냉각될 당시에 지구자기장의 극성이 현재의 것과 반대였음을 의미한다. 지자기 역전 원인은 확실히 규명되지 않았으나 내핵에서 발생하는 변화와 외핵 내 대류운동의 변화와 관련된 것으로 추정된다. 지구 자기장의 역전현상은 불규칙하나 평균적으로 수십만 년에 한 번 정도 역전이 일어났다.

〈그림 1-12〉처럼 해저의 맨틀 물질이 상승하는 곳에서는 마그마가 식으면서 그 당시의 지구자기장 방향으로 자화된다. 이렇게 자화된 암석은 지속적인 맨틀물질의 상승으로 확장축에서 양쪽으로 밀려나고 확장축에서는 새로운 마그마가 식으면서 그 당시의 지구자기장 방향으로 자화된다. 현재의 지구자기장의 방향과 같은 정자극기(검은색)와 반대인 역자극기(흰색)가 반복되어 나타난다. 따라서 해저의 자기이상을 측정하면 검은색과 흰색의 줄무늬가 해령축을 중심으로 대칭을 이루며 나타나게 된다.



〈그림 1-12〉 해저확장과 자기 이상

지구자기장에 대해 더욱 자세한 연구를 위해 암석의 자성을 측정하는 장비인 자력계를 탑재한 탐사선을 이용하여 해양자력탐사를 수행했다. 해양지각은 지구자기장을 기록하기 쉬운 세립질이고 함철자성광물이 풍부한 현무암으로 구성되어 있기 때문에 탐사를 통해 해저의 고자기 기록을 쉽게 얻을 수 있다. 탐사 결과 해저 암석들은 균질하지 못한 자화양상을 보여주는데 이러한 자화의 차이를 자기 이상(magnetic anomaly)이라고 하며 지도상에 해령과 평행하고 거의 직선에 가까운 줄무늬로 표시된다. 이들 줄무늬의 폭과 배치를 기존에 육지 화산암들에서 발견된 지자기 역전 기록들과 비교하



〈그림 1-13〉 지자기 줄무늬

면 해저 확장 속도를 구할 수 있다. <그림 I-13>은 대서양 중앙 해령의 확장축으로부터 해양 지각이 형성되면서 자화된 암석의 지자기 줄무늬를 나타내고 있다. 대칭적인 지자기 줄무늬를 통해 해령에서부터 해양지각이 형성되어 확장된다는 것을 증명할 수 있다.

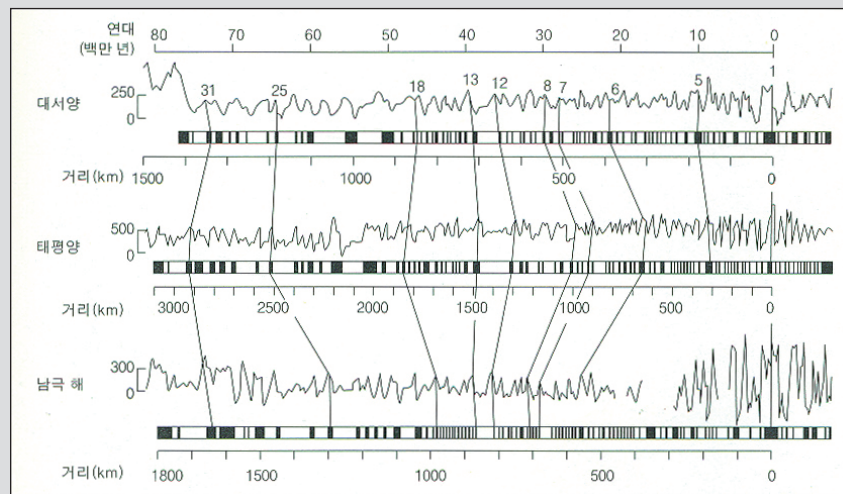
탐 구 활 동

| 준비물 | 공학용 계산기

지자기 이상을 이용한 해저 확장 증명

해저시추 결과에 의하면 해령을 중심으로 대칭적인 지자기 이상 현상이 나타난다. 이를 이용하여 해저가 해령축을 중심으로 양쪽으로 확장된다는 사실을 설명할 수 있었다. 몇 개의 해양분지에 나타난 지자기 이상을 통해 해저가 어떻게 이동했는지를 알아보자.

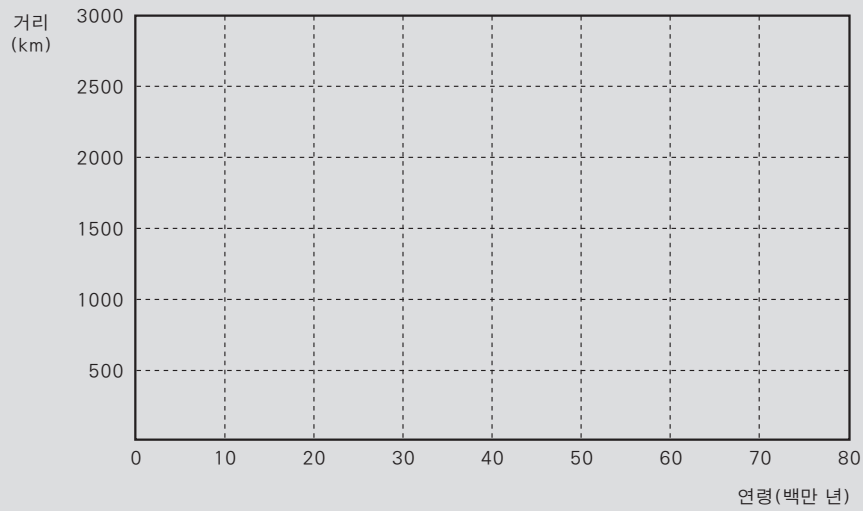
다음은 주요 대양의 해저에서 맨틀 대류에 의해 확장축이나 해령으로부터 직각 방향으로 거리가 멀어 저감에 따라 기록된 지자기 이상을 나타낸 것이다.



1) 동일 지자기 이상을 나타내는 시기와 중심축으로부터의 확장 거리와의 관계를 다음 표에 나타내시오.

구분	지자기 번호	6	7	8	12	13	18	25	31
	생성 연대(백만 년)								
	대서양(km)								
	태평양(km)								
	남극 해(km)								

2) 각 대양에서 지각의 생성 연령에 따른 중심축으로부터의 확장 거리를 그래프로 나타내시오.



결과 및 토의

- 1) 각 대양의 해저에 대하여 해저 확장 속도(cm/년)를 계산해 보자.
- 2) 대서양과 태평양의 해저 확장 속도가 다른 이유를 설명해 보자.



창의 탐구

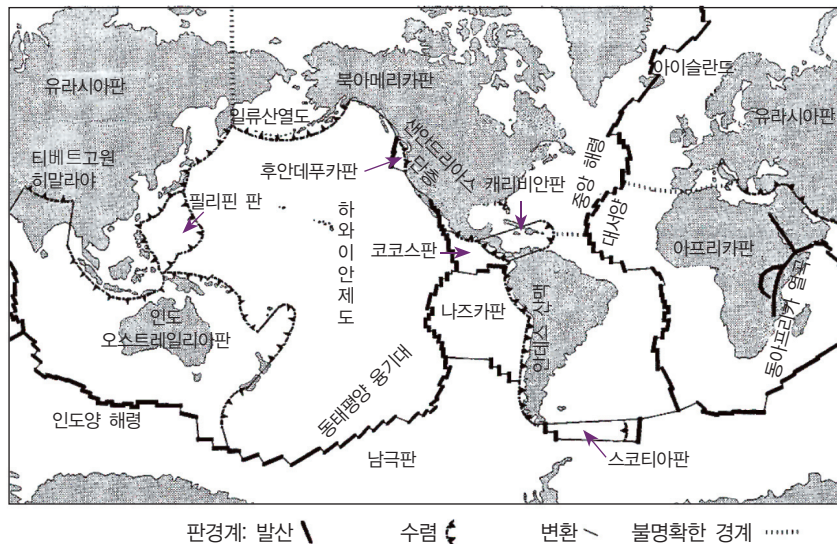
국제 공동 해양 시추 사업(ODP, Integrated Ocean Drilling Program)의 자료를 인터넷으로 검색하여 태평양과 대서양의 해저 지역 자료를 비교 분석하고 해저가 확장한 증거를 제시해 보자(인터넷 검색 사이트 : http://sedis.iodp.org/front_content.php, <http://www.iodp.org/weblinks/Tasks-Scientists/Request-Access-to-Samples>).

6

판구조론

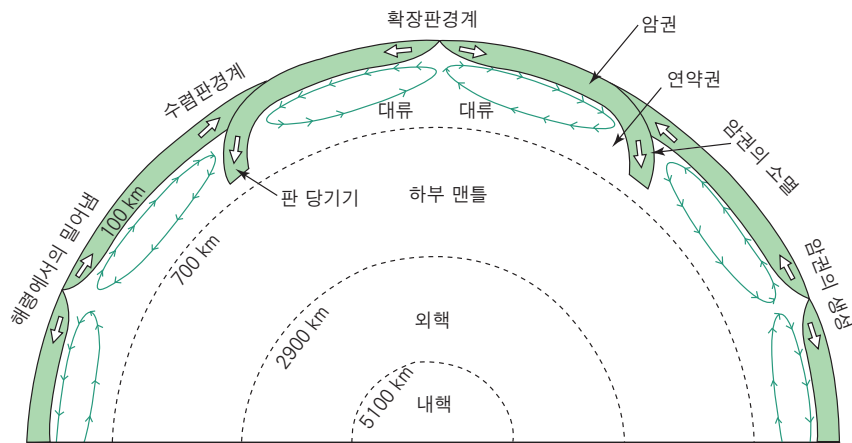
왜 태평양 주변에서 지진과 화산활동이 잦은 것일까? 일본은 어떻게 형성되었을까? 이런 질문에 대한 답은 판구조론에서 찾을 수 있다. 지구를 구성하는 연약권 위에 있는 암권이 이동하면서 지각변동이 일어난다는 것을 익히고, 판과 판의 경계에 따라 각각 어떤 특징적인 지형이나 지진, 화산 활동 등이 나타나는지를 알아보자.

지구표면을 구성하는 암권은 판으로 불리는 여러 개의 커다란 조각으로 나누어지며 판들은 서로 상대적인 운동을 한다. 이들 판의 생성, 소멸, 이동과 관련된 일련의 과정을 설명하는 종합적인 이론을 판구조론(plate tectonics)이라 한다.



〈그림 I-14〉 판의 분포

암권(lithosphere)은 지각과 상부맨틀의 일부분으로 구성되며 느리게 유동하는 약권(asthenosphere) 위에 놓여 있다. 암권은 평균 약 100 km의 두께를 가지는데, 중앙해령의 중심부에서는 수km, 해저에서는 약 120 km, 대륙에서는 100~250 km로 지역에 따라 다양한 두께를 가진다.

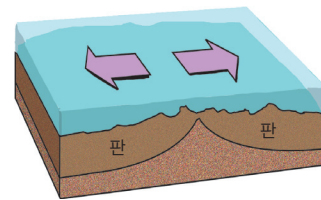


〈그림 I-15〉 지구 내부의 층상 구조와 판의 운동

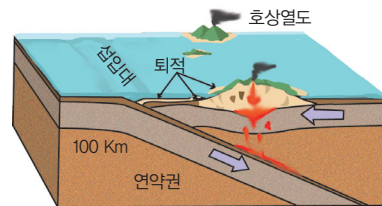
판들의 경계는 지질학적인 활동 지역으로 대부분의 지진과 화산 활동이 나타난다. 지구상에서 일어나는 대부분의 화산활동과 지진은 태평양 가장자리를 따라 발생하며 판의 경계와 밀접한 관계가 있다. 판의 경계는 크게 세 가지 유형으로 구분한다.

발산형 경계는 〈그림 I-16〉처럼 새로운 암권이 생기는 곳으로 인접한 두 판이 서로 반대로 멀어지는 상대운동을 한다. 발산형 경계의 대표적인 예는 중앙해령으로 맨틀로부터 뜨거운 물질이 상승하여 새로운 해양지각이 만들어지면서 해저 확장이 일어난다. 중앙해령의 정상부에는 열곡이 발달하며 육지에서는 동아프리카지역에 열곡이 발달되어 있다.

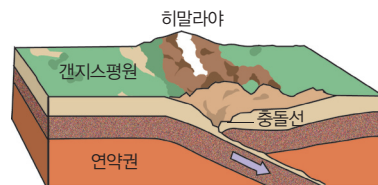
수렴형 경계는 〈그림 I-17〉, 〈그림 I-18〉처럼 판이 섭입하거나 충돌하는 곳으로 두 판이 서로 가까워지는 운동을 한다. 해양판과 대륙판이 충돌할 경우에는 밀도가 큰 해양판이 대륙판 아래로 비스듬히 들어가는 섭입대가 형성된다. 해양판은 약 45°의 각도로 섭입하며 섭입 각도는 해양판의 밀도에 따라 다르게 나타난다. 해양판과 해양판의 수렴 경계는 해양판과 대륙판의 수렴경계부와 비슷한 특징을 많이 갖는다. 해양판의 섭입에 의해 해구와 화산열도가 만들어지며 알류산, 마리아나, 통가 해구 및



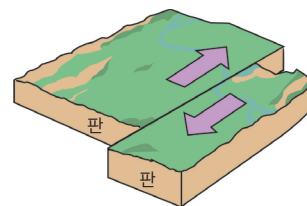
〈그림 I-16〉 발산형 경계



〈그림 I-17〉 수렴형 경계(섭입)



〈그림 I-18〉 수렴형 경계(충돌)



〈그림 I-19〉 보존형 경계

호상열도가 대표적인 예이다. 대륙판과 대륙판이 충돌할 경우에는 판이 맨틀 속으로 가라앉기 어렵다. 이때는 습곡과 단층활동이 활발하여 판이 수축하고 두꺼워져 습곡 산맥을 형성하게 된다. 이렇게 형성된 산맥은 알프스, 히말라야 산맥 등이다.

보존형 경계는 변환단층 경계라고도 하며 <그림 1-19>처럼 판의 생성이나 소멸이 없이 판들이 서로 어긋나는 곳이다. 중앙해령은 하나의 연속적인 열곡이 아니라 변환단층에 의해 어긋나 있는 여러 개의 열곡들로 되어 있다. 변환단층은 대부분 해양지각에 분포하지만 일부는 대륙 내에 위치하며 산안드레아스 단층이 대표적인 예이다. 보존형 경계에서는 두 판이 서로 반대 방향으로 이동하므로 천발지진이 주로 발생한다.

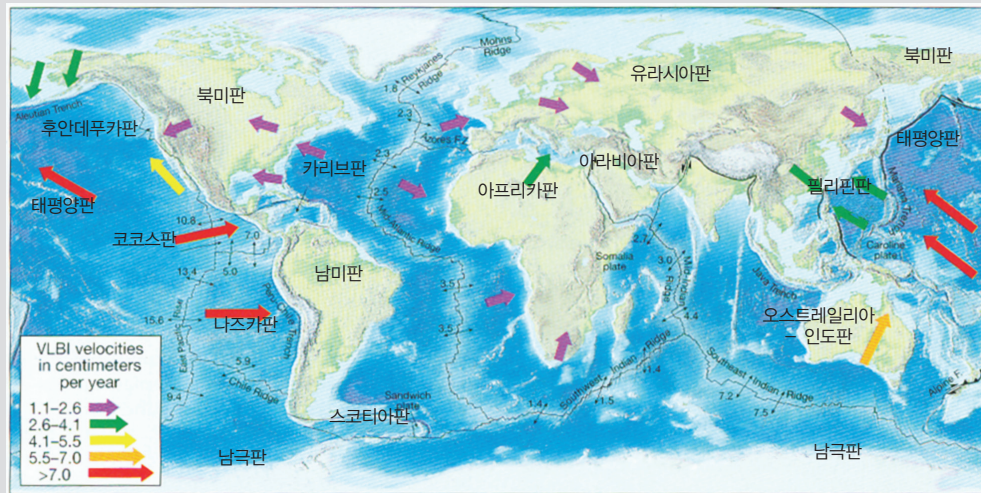
탐 구 활 동

| 준비물 | Google earth 프로그램

판의 경계와 지각 변동

판의 경계는 판들의 상대적인 운동에 따라 세 유형으로 나뉜다. 각 경계마다 특징적인 지형이 발달하며 화산이나 지진과 같은 지각변동이 수반된다. Google earth 프로그램을 이용하여 판의 경계를 살펴보고 각각의 특징을 조사해 보자.

Google earth 프로그램을 통해 대륙 및 해저 지형을 쉽게 파악할 수 있다. 아래의 세계지도에는 판들이 표시되어 있으며 판의 경계를 프로그램으로 직접 찾아가 확인할 수 있다. 또한 최근의 화산 활동과 지진 자료를 검색하여 지도에 표시해 보자.



판의 분포

- 1) 위의 세계 지도에 2000년 이후 발생한 화산 활동(활화산 포함) 자료를 표시하자(적색 삼각형으로 표시, 자료 검색 : <http://volcanoes.usgs.gov/activity/index.php>).

2) 위의 세계 지도에 2000년 이후 발생한 규모 5.0 이상의 지진 자료를 표시하자(검정색 점으로 표시, 자료 검색 : <http://www.iris.edu/seismon>, <http://earthquake.usgs.gov>).

3) 위 그림을 보고 판의 이동 방향과 이동 속도를 구해보자.

판 이름	평균 이동방향	평균 이동속도	판 이름	평균 이동방향	평균 이동속도

결과 및 토의

1) 조사한 자료를 토대로 아래 표를 완성해 보자.

	판의 경계	판과 판의 명칭	지형 및 지질 구조	지각 변동
발산	대륙			
	해양			
수렴	대륙판-대륙판			
	대륙판-해양판			
	해양판-해양판			
보존	대륙			
	해양			

2) 판의 경계와 최근의 화산 활동, 지진과는 어떤 관련성이 있는지 토의해 보자.

3) 상대적으로 운동하는 판의 이동 속도를 구하는 방법을 설명해 보자.



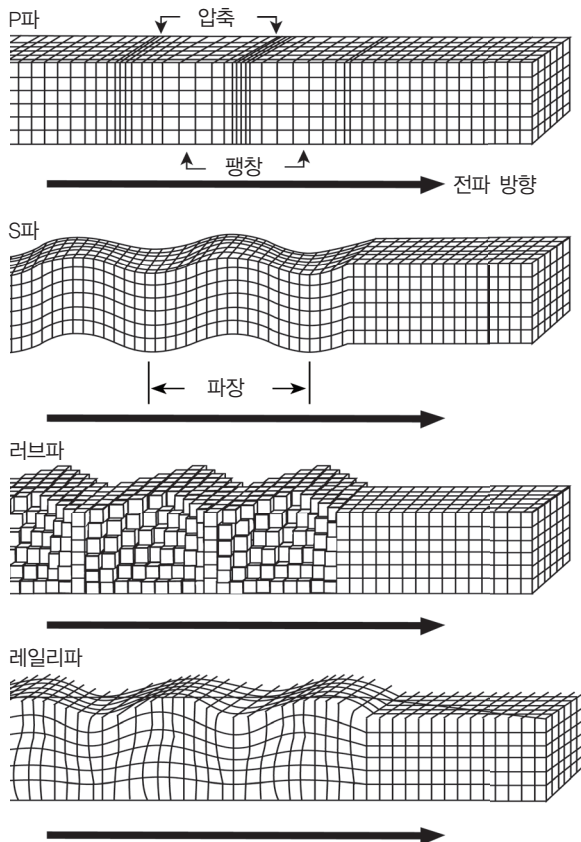
창의 탐구

1) 판의 이동 방향과 이동 속도를 고려하여 미래의 대륙과 해양의 분포에 대하여 토론해 보자.

2) 판구조론 입장에서 화성과 지구를 비교하여 화산 활동, 지진 및 지형적 특성에 대하여 토론해 보자.

07

지진파 분석



〈그림 I-20〉 지진파의 전파 양상

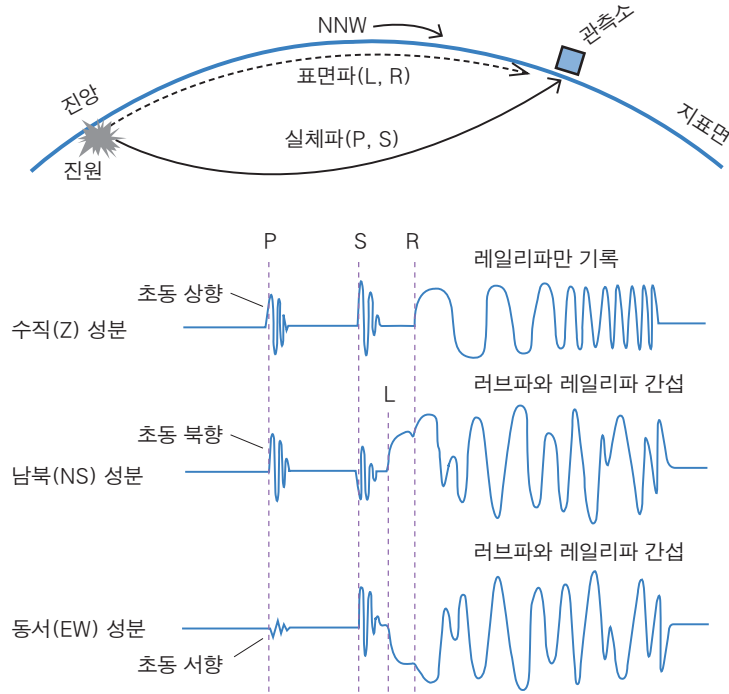
최근 규모 6.0 이상의 지진이 전 세계적으로 자주 발생하고 있어 지진에 대한 경각심을 불러 일으키고 있다. 지진이 발생하면 관측소에서 기록된 지진파를 통해 지진에 대한 여러 가지 정보를 얻을 수 있다. 지진파의 종류, 전달 특성 등에 대해 익히고 지진파를 이용하여 진앙 위치, 진원 깊이 등에 대한 정보를 어떻게 얻는지 그 방법에 대해 알아보자.

실체파는 파의 진행방향과 매질의 진동방향이 나란한 P파(primary wave)와 파의 진행방향과 매질의 진동방향이 직각인 S파(secondary wave)로 구분된다. 종파인 P파의 경우 매질의 부피를 변화시키며 전파되고 횡파인 S파의 경우 매질의 모양을 변화시키며 전파된다. 횡파는 매질의 진동방향에 따라 SH파와 SV파로 구분한다.

표면파는 지표면을 따라 파동에너지가 전파된다. 진폭은 지표면에서 최대이고 깊이에 따라 지수 함수적으로 감소한다. 표면파 중 러브파(L)가 먼저 도달하며 횡파(SH)와 같이 입자운동이 진행방향에 직각을 이루는 수평방향으로 움직인다. 반면에 레일리파(R)는 수직성분의 지진계에서 잘 관측되며 〈그림 I-20〉처럼 역타원 운동을 한다.

파원에서 수신기까지 전파된 지진파의 주기는 통과한 매질의 지진파 속도, 파원과 수신기 사이의 거리, 지구 내부의 경계면 형태 등에 따라 결정된다. 〈그림 I-21〉처럼 실체파는 P파가

먼저 도달하고 나중에 S파가 도달한다. 표면파는 일반적으로 분산되어 도달하며 파장이 긴 저주파가 먼저 도달하고 점차 파장이 짧은 고주파가 도달한다. 한 관측소에서는 세 성분의 지진을 동시에 관측한다.

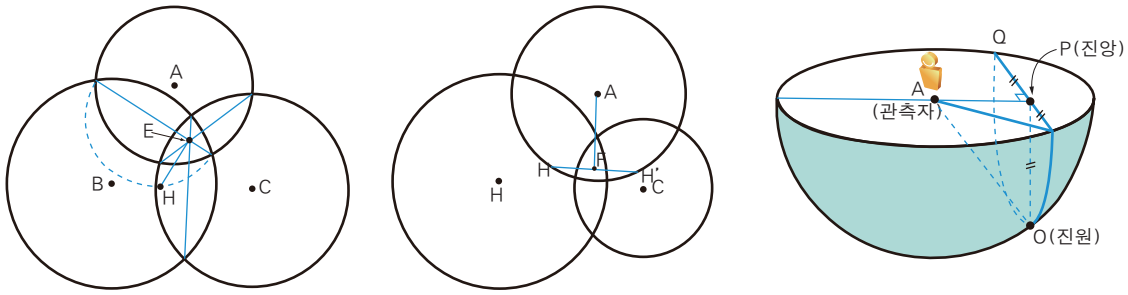


〈그림 I-21〉 지진파의 세 방향 성분

PS시를 알면 지진 기록을 이용하여 진원까지의 거리를 구할 수 있다. P파의 속도를 V_p , S파의 속도를 V_s , 진원 거리를 d , PS시를 t 라고 할 때 P파가 관측소까지 오는 데 걸린 시간 $t_p = d/V_p$ 이고 S파가 관측소까지 오는데 걸린 시간 $t_s = d/V_s$ 로 나타낼 수 있다.

$$t = t_s - t_p = \frac{d}{V_s} - \frac{d}{V_p} \quad d = \frac{V_p \cdot V_s}{V_p - V_s} \cdot t$$

진앙의 위치를 알기 위해서는 적어도 세 관측소 이상의 지진기록이 필요하며 세 관측소에서 의 진원거리를 반지름으로 하는 동심원을 그렸을 때, 〈그림 I-22〉처럼 공통현의 교점이 진앙이다. 지진이 발생한 곳이 세 관측지점의 중심 부분에 올 수 있도록 관측소를 선정하는 것이 정확한 진앙 위치를 알아내는데 중요하다. 진원의 깊이는 〈그림 I-22〉처럼 한 관측소에서 진앙까지 선을 그렸을 때 이 선에 수직인 현의 절반이다.



〈그림 1-22〉 진앙 위치와 진원 깊이를 알아내는 방법

탐 구 활 동

! 준비물 ! 공학용 계산기

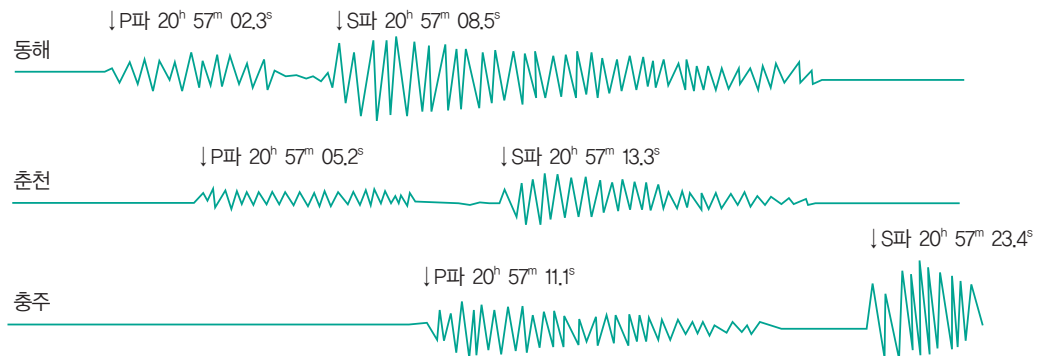
PS시를 이용한 진앙 및 진원 깊이 결정

지진계에 기록된 지진파형을 분석하면 여러 가지 정보를 얻을 수 있다. 지진파형을 분석하여 진앙의 위치와 진원의 깊이를 직접 구해보자.

- 1) 지진파형을 분석하여 진원까지의 거리를 구한다.
- 2) 각 관측소에서 그린 원들이 겹치는 부분에 공통현을 그리고 그 공통현의 교점을 찾아 진앙의 위치를 결정한다.
- 3) 세 관측지점 중 임의의 한 점에서 진앙에 직선을 그리고 이 직선에 직교하는 현을 그리면 그 현의 1/2가 진원의 깊이가 된다. 진원의 깊이를 실제 축적을 이용하여 구한다.

결과 및 토의

다음 자료는 동일한 지진을 우리나라 세 지역의 지진관측소에서 기록한 지진이다.

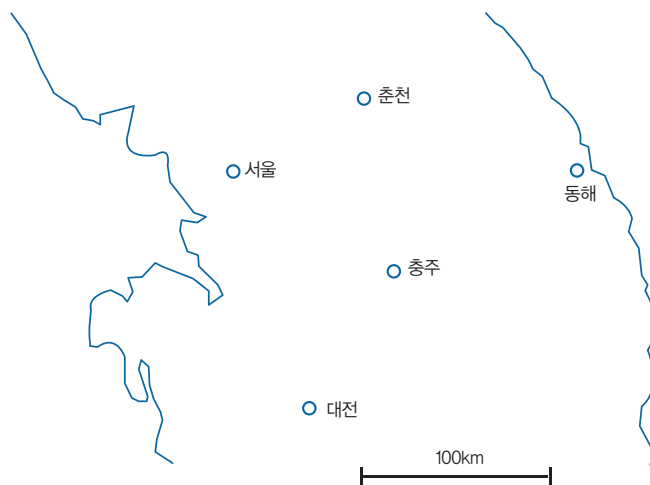


1) 제시된 자료를 이용하여 진원까지의 거리를 구해보자(단, $V_p = 6.5 \text{ km/s}$, $V_s = 3.5 \text{ km/s}$, 서울에서 대전까지 140 km임).

관측소	P파 도착시간 (시, 분, 초)	S파 도착시간 (시, 분, 초)	PS시 (초)	진원까지 거리 (km)
동해(TOH)				
춘천(CHO)				
충주(CHJ)				

2) 각 관측소의 위치를 우리나라 지도에 표시하고 진원까지 거리를 반지름으로 하는 원을 그리시오.

3) 세 원들이 겹치는 부분에 공통현을 그리고 진앙의 위치를 표시한 후 Google earth 프로그램으로 지명과 좌표(위도와 경도)를 찾아 기록해 보자.



4) 진원의 실제 깊이는 얼마인가?



창의 탐구

우리나라 및 세계에서 최근 발생한 지진 자료를 기상청과 USGS 자료를 활용하여 정리하고 그 경향성을 발표해 보자.

8

지진파를 이용한 지구 내부 이해

지구 내부의 상태를 알아보기 위해서는 주로 지진파가 이용된다. 지진파를 통해 지구 내부는 지각, 맨틀, 외핵, 내핵으로 구분할 수 있으며 어느 깊이에 불연속면들이 존재하는지 알 수 있다. 지진파를 이용하여 지구 내부가 어떻게 구분되는지 알아보자.

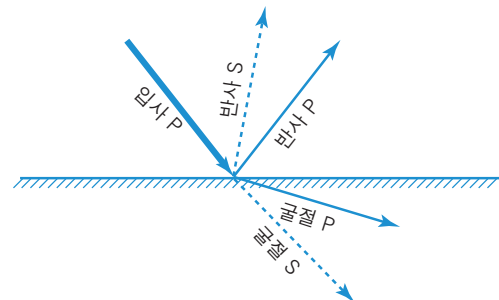
지진은 응력에 의해 어떤 매질이 탄성 변형을 받다가 탄성 한계를 초과하면 깨지면서 탄성 에너지가 발생하여 사방으로 파의 형태로 전달된다. 지진파는 매질의 특성에 따라 속도가 달라지기 때문에 지구 내부의 물리적 특성과 구조를 어느 정도 알 수 있다. 지진파의 P파 속도(V_p)와 S파 속도(V_s)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}, \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

여기서 체적탄성계수(k)는 압축력에 저항하는 정도를 나타내며 전단계수 혹은 강성률(μ)은 물질이 전단력에 저항하는 능력을 나타낸다. 압축력과 전단력에 대해 저항 능력이 큰 물질은 체적탄성계수와 강성률이 크다. 하지만 유체의 경우는 전단력에 대한 저항력이 전혀 없어 강성률이 없다($\mu=0$). 실제로 탄성계수 k , μ 와 밀도(ρ)를 알면 지진파의 속도를 구할 수 있지만 두 탄성계수를 직접 측정하는 것은 현실적으로 어렵다.

지진파의 속도는 지구 내부로 갈수록 일반적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 이것은 지구 내부로 갈수록 물질들이 잘 다져지고 고결됨에 따라 탄성이 증가하여 k 와 μ 가 증가하기 때문이다. 또한 지진파의 속도식에서 보면 속도와 밀도는 반비례 관계이지만 암석의 경우 밀도의 증가에 따라 k 와 μ 가 밀도의 증가보다 더 크게 증가하여 실제로는 지진파 속도가 빨라진다.

지구 내부는 전체적으로 볼 때 몇 개의 특징적인 불연속면이 존재하며 지진파는 위상이 변하면서 다양한 형태로 전달된다. 진원으로부터 출발한 파는 <그림 I-23>처럼 스넬의 법칙에



<그림 I-23> 지진파 모드 변환

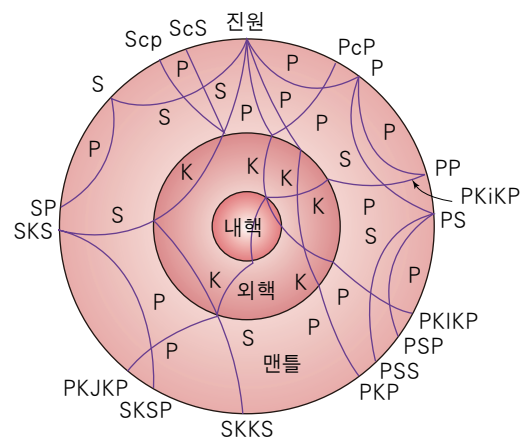
따라 지표에서 반사하거나, 맨틀-외핵의 경계나 외핵-내핵의 경계에서 반사·굴절한다. 또한 P파는 S파로, S파는 P파로 변환하여 관측점에 도달하기도 한다.

지구 내부를 통과한 지진파는 다음과 같이 약어를 사용하여 나타낸다.

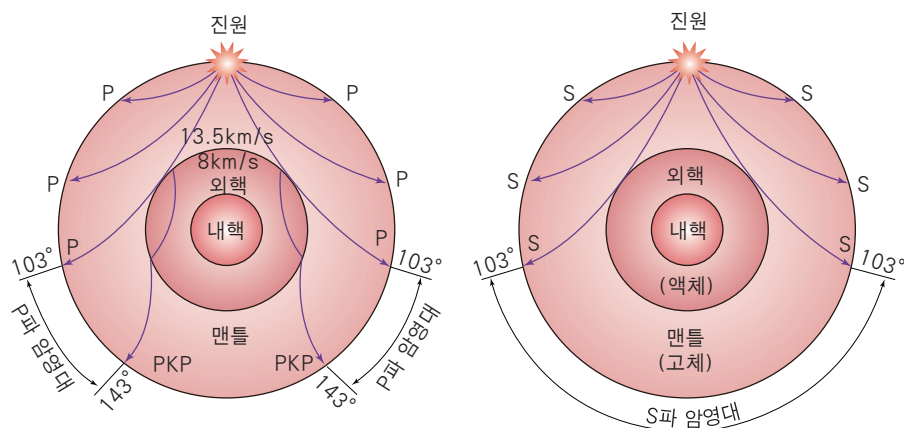
P : 종파, S : 횡파, K : 외핵을 통과한 종파, R : 레일리파, L : 러브파
I : 내핵을 통과한 종파, J : 내핵을 통과한 횡파
i : 내핵 바깥 경계에서 반사된 파, c : 외핵 바깥 경계에서 반사된 파

〈그림 I-24〉은 진원에서 발생한 지진파가 지구 내부를 통해 전달되는 모습이다.

크로아티아의 지진학자인 모호로비치치(Mohorovicic)는 1909년 발칸 지진에서 관측한 P파의 주시 곡선을 작성하면서 지표로부터 약 50 km 정도의 깊이에서 P파의 속도가 급속히 증가한다는 사실을 발견하였다. 이것은 이 깊이에 물성의 변화가 뚜렷한 불연속면이 존재함을 의미한다. 이것을 모호로비치치 불연속면이라고 하며 지각과 맨틀의 경계를 나타낸다. 1914년 구텐베르크는 원거리 주시 곡선을 분석하여 진앙으로부터 각 거리가 103° 에서 143° 사이에는 P파가 관측되지 않으며, 103° 이상의 지역에서는 S파가 관측되지 않는 암영대가 존재한다는 사실을 발견하였다(〈그림 I-25〉). 지하 약 2900 km 부근에서 S파가 전달되지 못한다는 사실에서 이 불연속면 아래는 액체 상태의 물



〈그림 I-24〉 지구 내부를 전파한 실체파의 위상



〈그림 I-25〉 P파와 S파의 암영대

질로 되어 있음을 알아내었다. 이 불연속면은 맨틀과 핵 사이의 경계면에 해당하며, 구텐베르크 불연속면이라고 한다. 1936년 덴마크의 지진학자 레만(Lehman)은 뉴질랜드의 볼러(Buller) 지방 근처에서 발생한 지진 기록을 분석하다가 각거리 110° 이상에서 미약한 P파를 관측하여 지하 5,100 km 깊이에 또 다른 불연속면이 존재함을 밝혀내었다. 이는 외핵과 내핵의 경계에 해당하며 레만 불연속면이라고 한다.

탐 구 활 동

| 준비물 |

지진파를 이용한 지구 내부 구조 이해

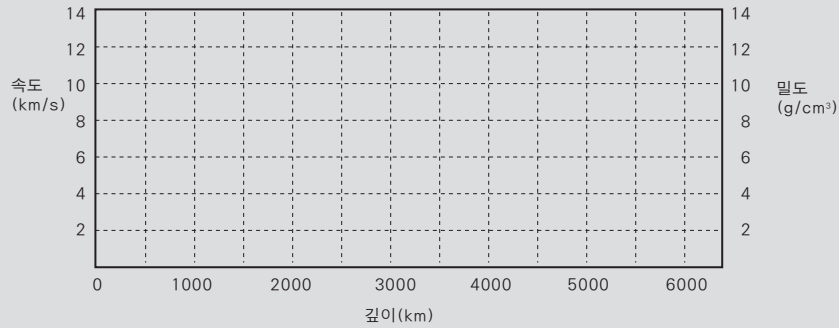
지구 내부는 지각, 맨틀, 핵 등으로 구분되며 지진파의 속도 분포를 통해 구분할 수 있다. 깊이에 따라 P파와 S파의 속도를 표시해 보고 지구 내부의 층상 구조를 구분해 보자.

다음 자료는 몇 가지 물질과 깊이에 따른 밀도, k , μ 값을 나타낸 것이다. 물음에 답해 보자.

1) 지진파의 속도 공식을 이용하여 깊이에 따른 V_p 와 V_s 를 계산하여 아래 표에 나타내시오.

깊이 (km)	밀도 (g/cm ³)	k (10 ¹¹ dyne/cm ²)	μ (10 ¹¹ dyne/cm ²)	V_p (km/s)	V_s (km/s)	깊이 (km)	밀도 (g/cm ³)	k (10 ¹¹ dyne/cm ²)	μ (10 ¹¹ dyne/cm ²)	V_p (km/s)	V_s (km/s)
0	2,840	0.650	0.358	6,300	3,550	2000	5.087	5.074	2.439		
15	2,840	0.650	0.358	6,300	3,550	2200	5.188	5.417	2.555		
60	3,332	1.093	0.713	7,832	4,626	2400	5.288	5.471	2.678		
120	3,348	1.213	0.678			2600	5.387	6.073	2.804		
200	3,387	1.394	0.686			2800	5.487	6.294	2.934		
300	3,424	1.599	0.693			2900	5.527	6.349	2.954		
400	3,775	1.884	0.840			3000	10.121	6.883	0.000		
500	3,925	2.267	1.041			3400	10.697	8.266	0.000		
600	4,075	2.581	1.270			3800	11.176	9.680	0.000		
700	4,150	2.698	1.396			4200	11.570	10.956	0.000		
650	4,200	2.665	1.362			4600	11.887	12.115	0.000		
800	4,380	3.100	1.656			5000	12.130	12.949	0.000		
1000	4,538	3.490	1.837			5121	12.197	10.842	0.000		
1200	4,655	3.756	1.967			5400	12.301	13.882	1.250		
1400	4,768	4.069	2.090			5800	12.405	14.113	1.300		
1600	4,877	4.387	2.209			6200	12.455	14.221	1.330		
1800	4,983	4.725	2.324			6371	12.460	14.244	1.330		

2) 깊이에 따른 두 지진파의 속도 V_p 와 V_s 그리고 밀도를 그래프로 나타내시오.



결과 및 토의

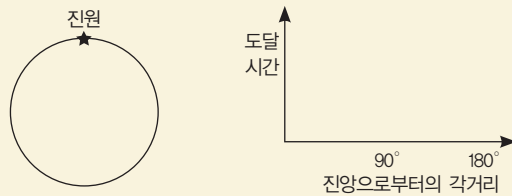
- 1) V_p 와 V_s 의 불연속선이 어느 깊이에서 나타나는가?
- 2) V_p 와 V_s 의 불연속선을 기준으로 지구 내부를 나누어보자. 각층의 물리적 성질은 어떠한가?
- 3) 깊이에 따른 밀도의 변화 곡선은 어떠한가?



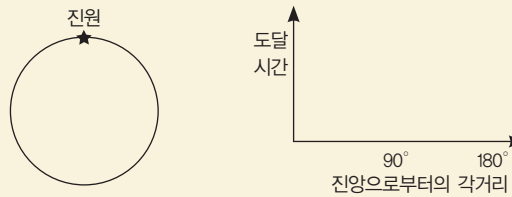
창의 탐구

다음과 같이 진원에서 지진이 발생했을 때 가상의 지구 내부를 통과하는 P파와 S파의 전파 경로와 주시를 그려보자.

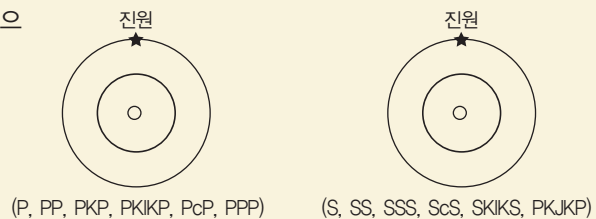
1) 깊이에 따라 지진파의 속도가 일정한 경우



2) 깊이에 따라 지진파의 속도가 일정하게 증가하는 경우



3) 깊이에 따라 지각, 맨틀, 외핵(유체), 내핵으로 구분되는 경우



9

지형의 변화

인터넷이 보편화되면서 지구와 관련된 다양한 정보를 쉽게 제공받을 수 있다. 특히 무료로 배포되는 Google earth 프로그램을 이용하면 우리나라 및 세계 방방곡곡의 특징적인 지형을 쉽게 볼 수 있다. 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있어서 해안선을 따라 독특한 지형이 발달되어 있으며 산지, 평야, 하천 등이 잘 발달되어 있다. 여러 가지 지형들과 이런 지형이 어떻게 변화되는지 알아보자.

지구 표면은 지구 내부로부터의 힘이나 태양 에너지에 의해 계속해서 변하고 있다. 지형을 변화시키는 요인으로는 중력, 유수, 바람, 빙하, 해수의 작용, 용기 침강 등이 있으며 그 밖의 요인으로는 지질, 기후, 생물 혹은 인간 등이 있다.

산사면의 풍화 산물이나 토양이 중력에 의해 하부로 이동하면서 완만한 경사를 이룬다. 산사면에서 입자들이 팽창과 수축을 반복하면서 느리게 이동하는 것을 포행(creep)이라 하며 토양이 덩어리로 이동하는 과정을 사태(mass wasting)라고 한다. 풍화 쇄설물이 물에 완전히 포화되면서 활성면 하부로 불투수층이 존재하면 활성면에서는 쉽게 미끄러져 하부로 이동하게 되는데 이런 과정을 토석류(solifluction)라고 한다. 토석류는 주로 경사가 낮은 구릉에서는 판상으로 느리게 이동하지만 함수량이 커지면 유동 속도가 빨라져 암설류(debris flow), 이류(mud flow)로 변한다. 모래보다 큰 입자들이 20~80% 이상이면 암설류가 되고 80% 이상이 점토로 되어 있으며 수분의 양이 증가하면 토류나 이류가 된다. 토류는 하천에 도달하기 전까지 완만한 경사지에서의 이동 과정을 일컬으며 이류는 토양 입자들 사이에 토양 수분이 증가하여 이동 속도가 육안으로 감지될 수 있을 만큼 빠르고 하천을 따라 이동하는 것을 일컫는다.

지표 풍화물이 바다까지 운반되는 과정은 유수, 빙하, 바람 등의 여러 과정이 있으며 이 중 대부분이 유수에 의해 이동된다. 강수가 증가하여 지표를 흐르는 물이 증가하면 토양을 침식시키며 하천을 이루게 된다. 유수에 의해 풍화 쇄설물이 용해되어 운반되거나 입자들이 운반되는 경우가 있으며 후자의 경우 유속과 입자의 크기에 따라 침식, 운반, 퇴적작용이 나타난다. 경사가 급한 산간 지역에서 발원된 하천이 경사가 완만한 평원으로 흐르는 곳에서는 유수에 의해 운반된 퇴적물이 부채꼴 모양으로 충적 선상지를 이룬다. 넓은 계곡의 평야에서는 영구 하천이 발달하며 유속이 느려지면 침식과 퇴적이 진행되면서 사행천이 발달한다. 사행천이

더 발달하면 하천 주변에 우각호나 배후 습지가 발달한다. 홍수 범람에 의하여 하천 주변은 자연 제방이 만들어지며 범람원 퇴적층이 평야를 넓게 덮기도 한다. 완만한 경사의 평야 지대를 통과한 하천은 해안에 퇴적물을 퇴적시키며 삼각주를 형성한다. 우리나라의 경우 한강을 비롯한 주요 하천이 산지에서 발원하여 평야 지대를 지나 해안에 이르면서 다양한 지형을 만든다. <그림 1-26>은 우리나라 남해안의 순천 지역에 나타난 하천의 모양을 나타낸 것으로 사행천과 우각호 등을 볼 수 있다.



<그림 1-26> 순천 지역의 인공위성 사진

바람에 의한 침식작용은 모래나 모래보다 더 작은 입자들을 이동시키는 풍식작용(deflation)과 모래들이 이동하면서 주변의 암석 표면을 깎아내어 모서리를 뾰족하게 만드는 마식작용(abrasion)으로 나눌 수 있다. 바람에 의해 퇴적된 모래층에는 물결 모양의 연흔이 발달하며, 파장이 증가하면 사구라고 한다.

고위도에서 눈과 얼음의 중간 형태인 만년설이 계속 축적되고 상부로부터의 압력으로 얼음 입자들이 서로 결빙하여 공기가 통과할 수 없게 되면 불투수성의 빙하가 형성된다. 단단한 고체 상태의 빙하가 이동할 때 지표와의 마찰에 의해 기반암 표면에서 암편을 부스러뜨리거나 뜯어내는 침식작용을 한다. 빙하는 지표와의 경계면으로부터 풍화 쇄설물들을 포획하면서 아래로 흐르다가 빙하가 녹게 되면 그 자리에 입자가 큰 암편들은 남게 되고 세립 입자들은 하천을 따라 하류로 이동하게 된다. 빙하의 침식작용으로 곡빙하가 지나간 자리에 남게 되는 지형을 U자형 계곡이라 하며 이들이 해안으로 계속될 때 이를 피요르드(fjord)라고 한다.

바다와 육지가 접하는 해안 지역에서는 파도의 침식과 퇴적작용에 의하여 여러 해안 지형이 발달한다. 바람, 파도, 조류에 의한 풍화작용으로 해안 대지(shore platform)가 형성되며 암석이 단단한 지역에서는 해안 절벽이 이루어진다. 육지로부터 이동된 퇴적물들이 모래 입자로 파쇄되거나 마모되어 파도에 의해 재 이동된 해안에서는 해빈사가 발달한다.

카르스트 지형은 지하수의 침투가 용이하며 지하수에 용해되기 쉬운 석회암이나 돌로마이트에서 흔히 나타나는 지형이다. 카르스트 지형은 우선적으로 움푹 패인 돌리네(doline)가 많이 발달한다. 돌리네는 용해나 붕괴 및 침강 등에 의하여 형성된 지표에서 지표수에 의해 용해된 이온들이 바로 지하 공동으로 스며들어 형성된다. 석회암 지대에는 우뚝우뚝 솟아있는 가파른 경사의 원추형이나 반구상 형태의 봉우리들(tower karst)이 잘 발달되었다. 석회암 지역

의 또 다른 특징은 지하에 동굴이 많이 발달하여 있는 것이다. 동굴 내에서 석회암이 물에 용해되어 종유석과 석순, 석주 같은 동굴 퇴적물이 만들어진다.

탐 구 활 동

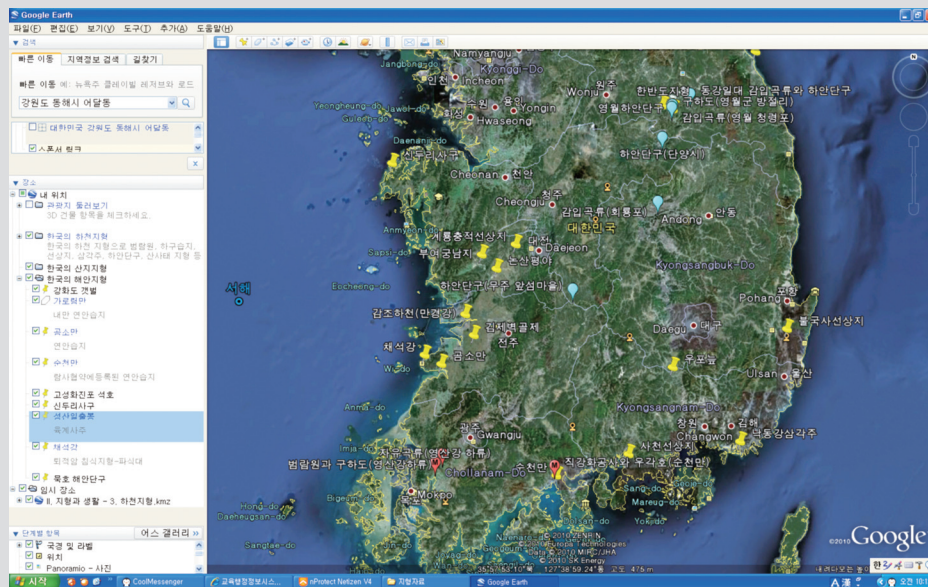
| 준비물 | Google earth 프로그램

우리나라의 지형 조사

Google earth 프로그램을 통해 우리나라의 지형을 마치 하늘에서 내려다보는 것처럼 볼 수 있으며 다양한 지형을 찾아 그 위치를 저장할 수 있다. 따라서 Google earth 프로그램을 이용해 우리나라 구석구석의 지형을 살펴보고 산악 지형, 하천 지형, 해안 지형 중에서 특징적인 지형들을 찾아 서로 비교해 보자.

인터넷 보급이 보편화 되면서 실시간으로 수업에 활용이 가능한 프로그램들이 제공되어 야외 탐구 활동을 교실에서도 간접적으로 경험할 수 있게 되었다. 특별히 Google earth 프로그램을 통해 세계의 모든 곳을 실제와 유사하게 볼 수 있게 되었으며 특징적인 지형을 관찰하는데 유용하게 사용할 수 있다.

- 1) 인터넷 포털사이트에서 Google earth 프로그램을 다운로드한다. (프로그램 다운로드 사이트: <http://www.google.com/earth/download/ge/agree.html>)



Google earth 프로그램 화면

- 2) 우리나라의 대표적인 산악 지형, 하천 지형, 해안 지형, 화산 지형 등을 찾아 표시해 두고 디렉토리를 만들어 분류한다.
- 3) 주요 하천의 발원지에서 바다에 이르는 수로를 따라 나타나는 지형 등을 찾아 표시해 둔다.

결과 및 토의

- 1) 산악 지형이 특징적으로 나타나는 곳은 어디인지 직접 Google earth 프로그램을 이용해 찾아보고 서로 비교해 보자(예, V자곡, 선상지 등).
- 2) 하천 지형이 특징적으로 나타나는 곳은 어디인지 직접 Google earth 프로그램을 이용해 찾아보고 서로 비교해 보자(예, 사행천, 범람원, 하안 단구, 우각호 등).
- 3) 해안 지형이 특징적으로 나타나는 곳은 어디인지 직접 Google earth 프로그램을 이용해 찾아보고 서로 비교해 보자(예, 해안 사구, 해안 단구, 해식애, 해식 동굴, 석호, 사주 등).



창의 탐구

우리나라의 4대 하천에 대해 발원지를 찾아보고 각각의 발원지에서 해안에 이르는 경로를 추적하면서 산지, 하천, 해안 지형들이 어떻게 분포하는지 조사하여 발표해 보자.

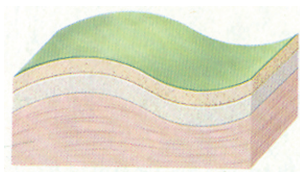
하천	발원지	특징적 지형
한강		
금강		
영산강		
낙동강		

10

지질 구조

도로변 절개지나 해안가 등 지층이 드러난 곳을 살펴보면 여러 가지 지질 구조를 볼 수 있다. 습곡, 단층 등의 기본적인 지질 구조에 대해 익히고 지질도에서 이런 지질 구조가 어떻게 표현되며 주향 및 경사를 측정하는 방법에 대해 알아보자.

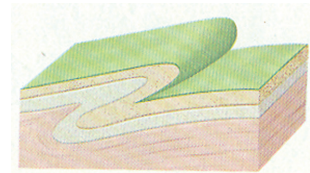
암석에 응력이 가해지면 암석은 체적이 감소 혹은 증가하거나 모양이 변하게 된다. 이러한 변형 작용의 결과로 생성된 지질 구조는 습곡 구조, 엽리 구조, 선 구조, 압쇄 구조 등이 있다. 층리나 엽리와 같은 판상의 면 구조가 횡압력이나 전단응력에 의해 규칙적인 파형의 형태를 갖는 것을 습곡 구조라 한다. 습곡의 형태가 위로 향하여 볼록한 것을 배사형(antiform), 아래를 향하여 오목한 것을 향사형(synform)이라고 한다. 습곡축과 습곡측면의 경사각을 기준으로 습곡을 분류하면 습곡측면의 경사각이 $90^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 이면 정습곡, $80^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 이면 경사 습곡, $10^{\circ} \sim 0^{\circ}$ 이면 횡와 습곡이라 한다.



(가) 정습곡



(나) 경사습곡



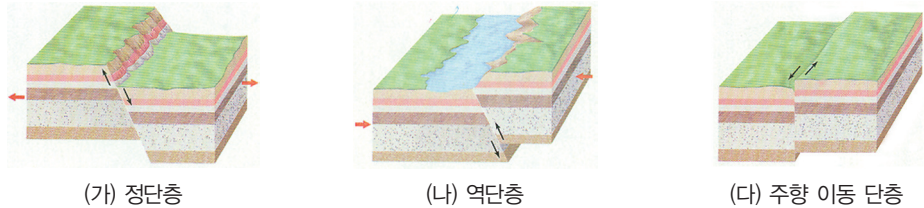
(다) 횡와습곡

〈그림 I-27〉 습곡

암석 내에 발달하고 있는 일정한 방향으로 쪼개지는 면 구조나 배열 상태를 엽리 또는 벽개라 한다. 엽리는 변성작용의 결과로 형성된다. 편리는 층상 구조를 갖는 운모류들이 육안으로 보일 정도의 크기로 성장한 것으로 변성암에 나타나는 엽리 구조를 일컫는다. 편마 구조는 변성작용에 의해 성분적으로 석영, 장석으로 구성된 규장질(felsic) 부분과 주로 흑운모로 구성된 고철질(mafic) 부분이 교호하는 형태로서 편마암에 나타난다.

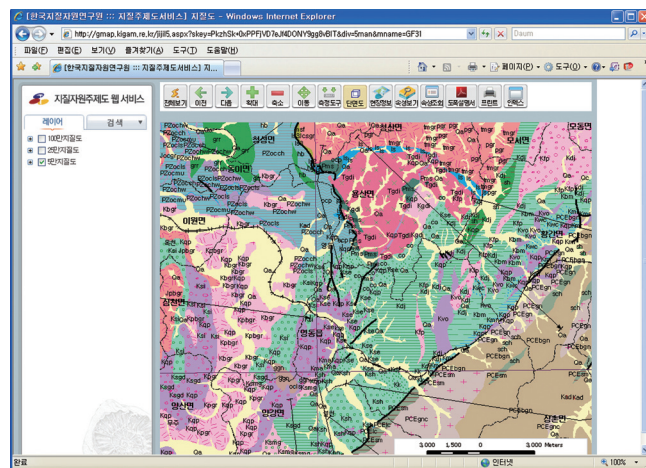
절리는 암석 내에 형성된 틈이나 균열을 통칭하는 것으로 이들 틈을 따라 어떤 변위가 나타나지 않은 것을 지칭하며 생성 원인과 형태에 따라 주상 절리, 판상 절리, 방사상 절리, 불규칙 절리, 풍화 절리, 층상 절리 등으로 구분된다. 한편 인접하여 있던 두 암석이 서로 상대적으로

엇갈린 움직임을 보일 때 발생하는 파쇄면을 단층(fault)이라고 한다. 단층면 위에 놓인 지괴를 상반(hanging wall), 아래에 놓인 지괴를 하반(footwall)이라 하며 단층면을 경계로 상반이 하반에 상대적으로 미끄러져 내린 것을 정단층, 상반이 하반에 대하여 상대적으로 미끄러져 올라간 것을 역단층이라 한다. 단층면이 수직이면서 수평 방향으로의 상대적 이동이 있을 때를 주향 이동 단층이라 한다.



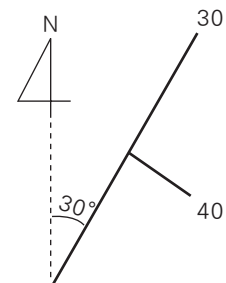
〈그림 I-28〉 단층

야외 지질 조사를 할 때 필수적인 것이 지질도이다. 종이로 프린트된 지질도와 그림파일로 저장된 지질도는 현재 한국지질자원연구원에서 판매하고 있으며 한국지질자원연구원 홈페이지(<http://geoinfo.kigam.re.kr/MainPage.action>)에서 지질도를 검색하여 볼 수 있다. 지질도에는 지층의 주향 경사, 암상 등의 정보가 기록되어 있으며 지형도와 함께 비교하며 야외 조사에서 활용할 수 있다.



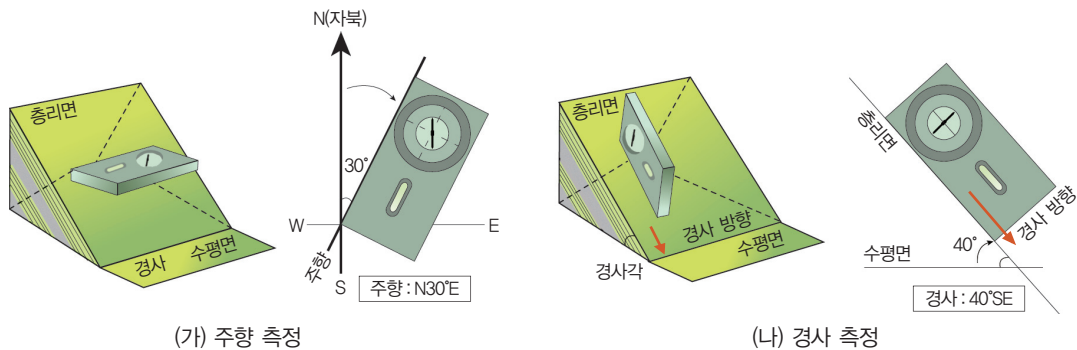
〈그림 I-29〉 지질자원연구원에서 제공하는 지질도

지층면과 수평면이 이루는 교선의 방향을 주향선이라 하고, 주향선의 방향을 그 지층의 주향이라고 한다. 또한 지층과 수평면이 이루는 경사각과 지층면이 기울어진 경사 방향을 경사로 나타낸다. 주향은 북쪽을 기준으로 측정한다. 만약 지층이 30°동쪽으로 기울어져 있으면 주향을 N30°E로 나타내며 서쪽으로 N50°W 기울어져 있으면 50°N으로 나타낸다. 한편 지층과 수평면이 이루는 경사각이 30°이고 남동쪽으로 경사져 있으면 경사는 30°SE로 표시하고 북쪽으로 50°경사져 있으면 50°N으로 표시한다. 지층의 주향과 경사는 클리노미터나 브런튼컴퍼스를 사용하여



〈그림 I-30〉 주향과 경사 표시

여 측정하며 최근에는 주향과 경사를 디지털로 표시되는 장치가 있으며 일부 스마트폰으로도 측정이 가능하다. 클리노미터를 사용할 경우 <그림 1-31>처럼 주향은 클리노미터를 지층면에 수평이 되게 대고 바깥쪽 자침이 가리키는 방향을 북을 기준으로 읽는다. 경사는 주향선에 직각으로 클리노미터의 긴 변을 세워서 지층면에 대고 안쪽 하트 모양의 뾰족한 자침이 가리키는 방향을 읽는다.



<그림 1-31> 주향과 경사의 측정 방법

탐 구 활 동 (1)

준비물 | 클리노미터, 나무판(책)

주향과 경사의 측정

지질도에는 주향과 경사가 표시되어 있으며 이를 해석하여 지층이 어떻게 놓여 있으며 어떤 지질 구조가 존재하는지 짐작할 수 있다. 클리노미터를 이용해 주향과 경사를 직접 측정해 보자.

- 1) 나무판(책)을 받침대를 이용해 기울여 놓는다.
- 2) 클리노미터의 긴 변을 나무판(책)에 대고 수준기의 기포가 중앙에 오도록 조절하여 수평을 맞춘 후 바깥쪽의 눈금을 읽어 주향을 측정한다.
- 3) 연필로 주향선을 긋고 이에 직각인 경사 방향선에 클리노미터를 세운 후 안쪽 눈금을 읽어 경사를 측정한다.

결과 및 토의

1) 나무판(책)의 주향과 경사는 얼마인가?

주향 :

경사 :

2) 위에서 측정한 나무판(책)의 주향과 경사를 기호로 나타내보자.

3) 나무판(책)의 방향을 일정하게 유지하면서 경사 각도를 바꾸었을 때 변하는 것은 무엇인가?

4) 나무판(책)의 경사 각도를 일정하게 유지하면서 방향만 바꾸었을 때 변하는 것은 무엇인가?

5) 클리노미터의 방위판에는 E와 W의 위치가 바뀌어 표시되어 있다. 그 이유는 무엇인지 생각해 보자.

6) 주향이 정해지면 일반적으로 경사 방향은 두 방향으로 국한된다. 그 이유는 무엇인지 생각해 보자.

탐 구 활동 (2)

준비물 | 지질 단면도, 색연필, 자

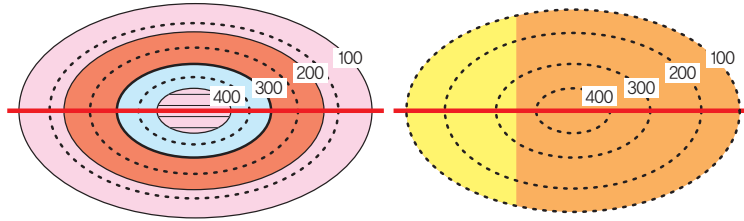
지질 단면도 해석

지질도를 보고 지층이 어떻게 놓여 있는지 해석할 수 있다. 지질도를 보고 지질 단면도를 그려보자.

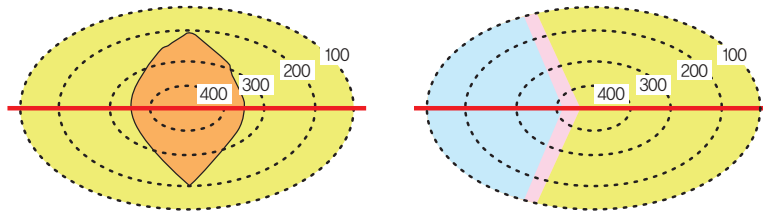
지질도는 수평면상에 지질 구조를 알 수 있도록 지층이 구분되어 표시된다. 수평면상에 나타난 지질 구조가 수직적으로 어떻게 배치되어 있는지 알기 위해 지질 단면도를 작성한다. 지질도에서 지층 경계 선과 등고선이 만나는 지점을 아래의 수직적으로 표시한 등고선에 표시하여 나타낸다.

결과 및 토의

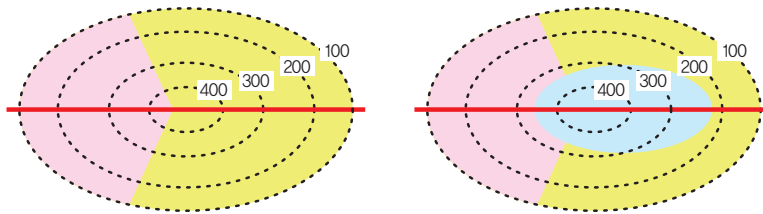
1) 아래의 지질도를 보고 지질 단면도를 그려보자. (단위는 m)



400m _____
 300m _____
 200m _____
 100m _____

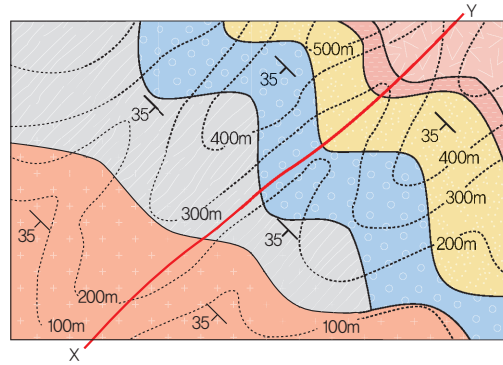


400m _____
 300m _____
 200m _____
 100m _____



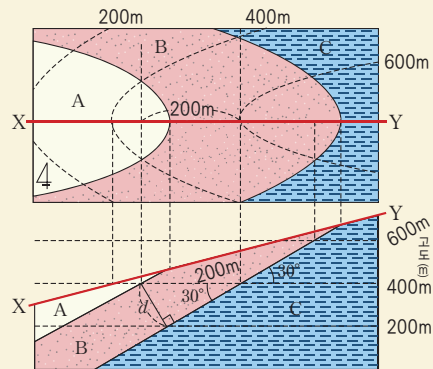
400m _____
 300m _____
 200m _____
 100m _____

2) 주어진 노선 지질도를 보고 X-Y 지형 단면선에 따른 지질 단면도를 완성해 보자.

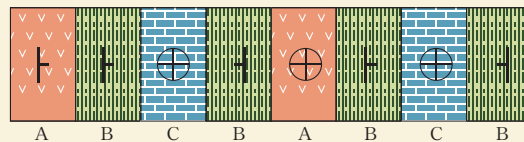


창의 탐구

1) 그림에서 지층 B의 두께는 얼마인가?



2) 다음 자료를 통해 확인할 수 있는 퇴적 구조와 퇴적 순서를 설명해 보자.



11

퇴적 구조

우리나라의 퇴적 분지를 다녀보면 여러 가지 퇴적 구조를 볼 수 있다. 자갈, 모래, 점토 등의 퇴적물이 쌓이면서 퇴적암이 될 때 특징적인 퇴적 구조가 나타나며 이런 퇴적 구조를 통해 퇴적 당시의 환경을 짐작할 수 있다. 특징적인 퇴적 구조들이 어떤 모양이며 어떻게 형성되었는지 알아보고 퇴적 과정을 재현할 수 있는 장치를 설계해 봄으로써 퇴적 과정에 영향 주는 변인들에 대해 알아보자.

퇴적암에는 특징적인 퇴적 구조가 나타난다. 이런 퇴적 구조 중에서는 지층의 상하를 판단할 수 있는 것들도 있다.

사층리(cross bedding)는 모래 크기의 입자에서 특징적으로 잘 나타나는 퇴적 구조이다. 하나의 퇴적층 내에 얇은 층리들이 평행하게 쌓이지 않고 기울어지거나 오목한 형태를 보이며 층리의 폭이 한쪽은 넓고 다른 쪽은 좁아지는 형태로 쌓이기도 하는데, 이런 퇴적 구조를 사층리라 한다. 사층리는 유수, 바람 등에 의해 형성되며, 이들의 종류와 규모 등은 주변의 퇴적상과 함께 연관시켜 고수류의 방향을 측정할 때 좋은 정보를 얻기도 한다. 또한 사층리는 층리 폭이 넓은 쪽이 위쪽이 되고, 좁은 쪽이 아래쪽이 되어 지층의 상하를 판단하는 데 도움을 준다. 사층리는 충남 보령 지역의 사암에서 흔히 볼 수 있으며 학교나 관공서의 교훈이나 이름을 새겨 넣은 충남 보령산 사암에서 흔히 관찰할 수 있다.

퇴적물이 쌓일 때 입자가 큰 자갈부터 먼저 퇴적되고, 그 위로 입자가 작은 모래 그리고 점토가 차례로 쌓이게 된다. 이처럼 점이층리(graded



〈그림 I-32〉 사층리



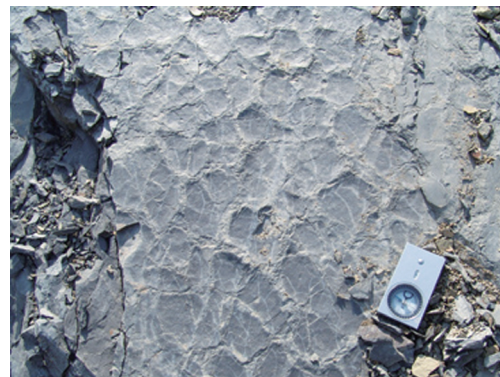
〈그림 I-33〉 점층리

bedding)란 한 층 내에서 입자의 크기가 상향으로 갈수록 작아지는 층리를 말하는데, 그 두께는 1 cm에서 수 m에 이르기까지 다양하다. 이때 크기의 변화를 나타내는 입자는 역(자갈), 모래, 실트 등이다. 한편 이와 반대로 층의 상부로 갈수록 입자의 크기가 증가하는 역점이층리도 있으며, 이는 퇴적작용이 일어나는 동안 유수의 운반 능력이 점차 증가할 때 형성된다. 해저에서는 대륙붕에 퇴적되어 있던 퇴적물이 대륙 사면의 저탁류를 따라 흘러내려 대륙대에 퇴적될 때 입자의 크기에 따라 퇴적될 수 있으며 이때 점이층리가 발달한다.

호수나 바다의 가장자리 얕은 곳에서 수면의 파도 모양이 퇴적물에 의해 만들어지는 구조를 연흔(ripple mark) 또는 물결 자국이라고 한다. 대체로 응집력이 없는 모래 퇴적물과 실트 퇴적물에서 나타난다. 연흔에는 대칭 연흔과 비대칭 연흔으로 나뉘며, 파도에 의해 왕복 이동을 하는 물의 흐름으로부터 만들어지는 연흔은 대체로 대칭을 이루며 파도 연흔이라고 부른다. 바람이나 물이 한 방향으로 이동할 때 형성하는 연흔은 비대칭의 단면을 보이며 유수 연흔이라고 한다. 특히 유수 연흔은 물이나 바람이 불어온 방향까지 유추할 수 있어 고환경 연구에 도움이 된다. 유수 연흔의 단면에서 바람이 불어오는 쪽의 경사가 바람이 불어가는 쪽의 경사보다 완만하게 나타난다. 연흔은 우리나라 중생대 지층에 많이 발달되어 있으며 현생 연흔의 경우 우리나라 서해안 해수욕장에서 쉽게 볼 수 있다.



〈그림 I-34〉 연흔



〈그림 I-35〉 건열

건열(mud crack)은 응집력이 있는 퇴적물에서 수분이 빠져 나감으로써 퇴적물의 부피가 감소하면서 형성된다. 일반적으로 점토와 같은 퇴적물에 이러한 구조가 잘 나타난다. 반면 모래처럼 응집력이 없는 퇴적물에서는 이러한 건열이 나타나지 않는다. 건열이 나타난다는 것은 그 지역이 건조한 환경에 노출되었기 때문이다. 물이 존재했던 논바닥이나 호수 가장자리에서 물이 빠져나가면서 점토가 갈라져 형성되는 다각형 모양의 갈라진 틈들이 현생 건열이다. 건열의 단면도를 보면 켜기 모양으로 위쪽은 넓고 아래쪽으로 뾰족하게 된다. 따라서 건열을 포함하는 층의 상하를 판단하는 데 도움이 된다.

빗방울 자국 또는 우흔(rain drop impression)은 점토와 같은 세립질의 입자에 빗방울이 떨어



〈그림 I-36〉 우흔

며 충북 음성, 충북 영동 등지의 중생대 퇴적 분지에서 우흔이 발견되기도 한다.

지면서 자국을 남긴 후 빗방울 자국이 생긴 퇴적물의 표면이 마르고 그 위에 새로운 퇴적물이 쌓인 후 오랜 시간이 흐르는 가운데 굳어져 돌로 변한 것이다. 우흔의 모양은 주로 원형이나 타원형으로 나타나며 오목하게 형성되기 때문에 지층의 상하를 판단하는 기준이 될 수 있다. 우흔의 크기는 수 mm의 크기를 보이며 깊이는 1 mm 내외이다. 우리나라에서는 경상남도 의령에 천연기념물 196호로 지정된 우흔이 있는

탐구 활동

준비물 | 실험 장치 모형, 퇴적 구조 사진

퇴적 구조 실험 장치 설계

퇴적암 중에는 특징적인 퇴적 구조가 나타난다. 이런 퇴적 구조가 어떤 환경에서 형성되었으며 어떻게 형성되었는지를 알 수 있는 탐구 장치를 직접 설계해 보자.

퇴적 과정에 영향 주는 요인은 중력, 유수, 바람, 물, 퇴적물의 종류, 지반의 경사 등이 있다.

결과 및 토의

1) 다음의 퇴적 구조가 형성되는 과정과 영향 주는 요인을 알아보자.

퇴적 구조	형성 과정	영향 주는 요인
사층리		
점이층리		
연흔		

건열		
우흔		

2) 퇴적 구조가 형성되는 것을 재현하기 위해 필요한 준비물과 변인을 알아보자.

퇴적 구조	준비물	조작 변인	통제 변인	종속 변인
사층리				
점이층리				
연흔				
건열				
우흔				



창의 탐구

여러 가지 퇴적 구조를 실험할 수 있는 장치를 직접 만들어 탐구해 보자.

- 1) 장치 명칭
- 2) 준비물
- 3) 장치 설계도
- 4) 변인 조절 장치 및 방법
- 5) 장치 제작 및 시연

12

지층의 상대 연령

국립과학수사연구소에서는 현재의 여러 가지 단서를 통해 과거의 상황이나 범죄자의 신원을 파악하는 일을 하고 있다. 지질학자들은 지층이 쌓인 모양을 보고 과거에 어떤 일이 어떤 과정으로 형성되었는지를 과학적으로 판단한다. 지질학적 사건을 연구하는 원리를 익히고 지질 단면도를 보고 과거에 어떤 일이 있었는지를 추정하는 방법과 멀리 떨어진 지층을 대비하는 원리를 알아보자.

과거에 일어난 지구상의 지질학적 사건을 연구하는 기본 원리는 다음과 같이 몇 가지가 있다.

동일 과정의 법칙(law of uniformitarianism)은 1788년 허튼(J. Hutton)이 주장한 것으로 현재 지구상에서 일어나고 있는 변화와 같은 변화가 과거에도 비슷하게 일어났다는 것이다. 그러나 동일 과정의 법칙은 무조건 적용될 수 없다. 왜냐하면 현재 일어나고 있는 변화를 현재와 환경이 다른 시생대나 원생대에 그대로 적용시킬 수는 없기 때문이다. 선캄브리아대 초기에는 기권과 수권이 없었고 점점 기권과 수권이 생겨났지만 대기의 조성이 현재와는 달랐으며 대기 중에는 산소가 없었다.

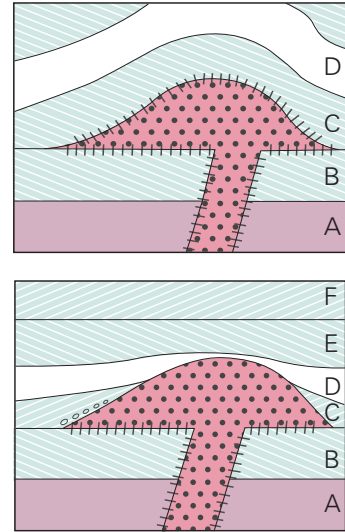
지층 누층의 법칙(law of superposition)은 1669년 스테노(N. Steno)가 주장한 것으로 퇴적암의 생성 순서를 밝혀주는 법칙이다. 지층이 퇴적된 그대로의 순서를 유지하고 있을 때에는 아래 놓인 것이 먼저 쌓인 지층이고 위에 놓여 있는 것이 후에 쌓인 지층이라는 법칙이다. 물 밑에서 퇴적된 지층이 조류 운동으로 융기되면 지층은 거의 수평으로 수면 위에 나타날 것이다. 이는 지층이 퇴적될 때에 수평 또는 거의 수평으로 쌓임을 의미한다. 그러나 지층이 수직이거나 역전되어 버리면 국부적으로는 지층의 상하 판단이 잘못될 수 있다. 이런 때에는 지층의 상하를 판단할 수 있는 사층리, 연흔, 건열, 점이층리 등을 이용해야 한다.

생물군 천이의 법칙(law of faunal and floral succession)은 스미스(W. Smith)가 주장한 것으로 누층의 법칙을 적용하여 지층을 아래로 또는 위로 계속하여 따라가면 지층 속에 들어 있는 화석의 내용이 점점 달라짐을 알 수 있다. 특히 동물화석을 조사해 보면 1종의 화석도 점점 변해 가지만 화석동물군의 내용도 변해감을 알 수 있다. 이는 시대가 달라지면 동물군에도 변화가 일어난다는 것으로서 시간이 흐름에 따라 동물에 진화가 일어났다는 의미를 내포한다. 이와 같이 시간을 대표하는 지층의 상, 하 양 지층사이에서도 화석동물군의 내용이 달라진다

는 사실을 생물군 천이의 법칙 또는 동물군 천이의 법칙이라고 한다. 이 법칙은 또한 어떤 내용을 가진 화석동물군은 한 시대밖에 존재할 수 없음을 가르쳐 준다. 왜냐하면 시대가 변하면 동물군의 내용이 변하기 때문이다. 이 법칙은 지층을 대비하는 데 큰 도움이 된다.

부정합(unconformity) 관계는 부정합을 경계로 상하 두 지층 간에는 큰 시간적인 간격이 있음을 말한다. 지층이 퇴적되다가 오랫동안 퇴적이 중단되거나 퇴적면이 육화되어 침식을 받은 면이 퇴적층 속에서 발견되면 이 면을 부정합면이라고 하고 이 면 상위 및 하위의 지층 사이의 관계를 부정합이라고 한다. 만일 하위의 지층이 심한 습곡을 받았거나 부정합면 아래 화성암이 있을 경우에는 부정합면은 대단히 긴 시간의 간격을 의미한다. 부정합의 시간적 간격이 큰 경우에는 상하 양 지층 중에 화석 내용에 큰 차이가 생겨난다.

관입(intrusion) 관계는 어떤 지층에 화성암이 관입했을 때, 관입당한 지층이 관입한 화성암보다 먼저 형성되었음을 나타낸다. <그림 1-37>의 위쪽 그림은 A지층부터 D지층까지 쌓인 후에 마그마가 관입하면서 기존 지층과 관입암과의 경계 부분이 변성된 것을 나타낸다. 그러나 아래 그림은 A지층과 B지층이 쌓인 후 마그마가 분출한 것으로 마그마의 윗부분과 접하고 있는 지층과의 경계는 변성작용을 받지 않았다. 오히려 분출된 마그마가 노출된 후 풍화작용을 받은 흔적이 C지층에 나타나 있다.



〈그림 1-37〉 관입(위)과 분출(아래)

지질학적 사건의 상대적인 선후 관계만을 나타내는 연령을 상대 연령이라고 한다. 지사학의 원리와 암상의 유사성 등을 이용하여 결정하며 화석이 발견될 경우 더 정확한 선후 관계를 밝힐 수 있다. 그러나 상대 연령으로는 정확한 연대를 알 수 없기 때문에 지질학적 사건의 선후 관계 뿐만 아니라 구체적인 지질학적 연령을 표현하는 것을 절대 연령이라고 한다. 절대 연령 측정은 방사성 동위원소의 반감기를 이용한다. 어떤 방사성 원소의 반감기가 알려져 있다면 그 원소를 함유하고 있는 암석이나 광물의 생성 연령을 다음 식으로 구할 수 있다.

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

N_0 : 방사성 원소의 처음 양, N : 방사성 원소의 현재 양, t : 경과된 시간, T : 반감기

지층이 퇴적될 당시의 기후, 퇴적분지의 깊이, 주위의 지질 등이 비슷하면 퇴적된 지층의 순서나 성질이 비슷해지는데 이러한 점을 이용하여 멀리 떨어져 있는 지층의 시간적 선후 관계와 이들 중 어느 지층이 같은 시기에 생성되었는가를 밝히는 것을 지층 대비라고 한다. 암석의 성

질에 근거를 둔 암질에 의한 대비와 지층에 포함된 화석에 근거한 생물 층서 대비 및 지질학적 시간과 연령에 근거를 둔 시간 층서 대비 방법 등이 있다. 서로 다른 각각의 암석 단위는 색, 성분, 퇴적 구조, 조직 등에 의해 구별된다. 관찰한 층의 단면도를 대비할 때, 특히 비교적 좁은 지역일 경우 지층에서 가장 신뢰할 수 있는 암석학적 특징을 이용해야 한다. 암석 단위 내에서 가장 중요한 건층(key bed)이 정해지면 넓은 지역에 분포하는 층군의 대비도 가능해 진다.

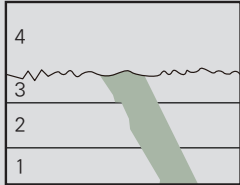
탐 구 활동 (1)

| 준비물 | 색연필, 자

지질학적 사건의 순서 정하기

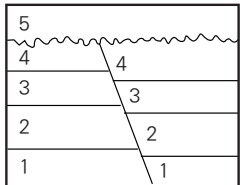
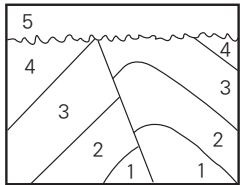
지질 단면도에 나타난 지층을 보면 퇴적 과정과 환경을 어느 정도 짐작할 수 있다. 지사학의 원리를 활용하여 지질학적 사건의 과정을 설명해 보자.

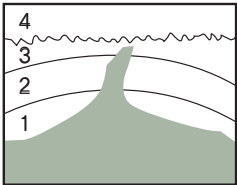
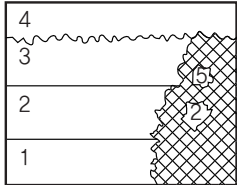
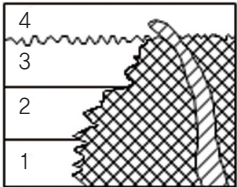
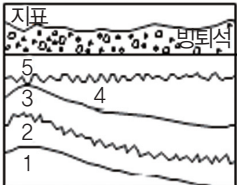
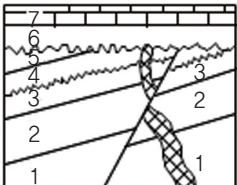
아래에 제시된 지질 단면도 해석 결과를 참고하여 다음에 제시되는 지질 단면도를 해석해 보자.

지질 단면도 예시	지질학적 사건
	① 1 → 2 → 3 퇴적 ② 마그마 관입 또는 분출 ③ 부정합(웅기 → 침식 → 침강) ④ 5 → 6 퇴적

결과 및 토의

1) 지질 단면도를 보고 지질학적 사건의 과정을 설명해 보자.

지질 단면도	지질학적 사건
	① ② ③ ④
	① ② ③ ④ ⑤

	① ② ③ ④ ⑤
	① ② ③ ④ ⑤
	① ② ③ ④ ⑤
	① ② ③ ④ ⑤
	① ② ③ ④ ⑤

2) 제시된 지질학적 사건의 과정을 토대로 지질 단면도를 작성해 보자.

지질학적 사건	지질 단면도
① 1 → 2 → 3 퇴적 ② 습곡(횡압력) ③ 융기 → 침식 → 침강 ④ 4 → 5 퇴적 ⑤ 4지층까지 마그마 관입	
① 1 → 2 → 3 퇴적 ② 부정합 (융기 → 침식 → 침강) ③ 습곡 ④ 역단층 ⑤ 4 → 5 퇴적	

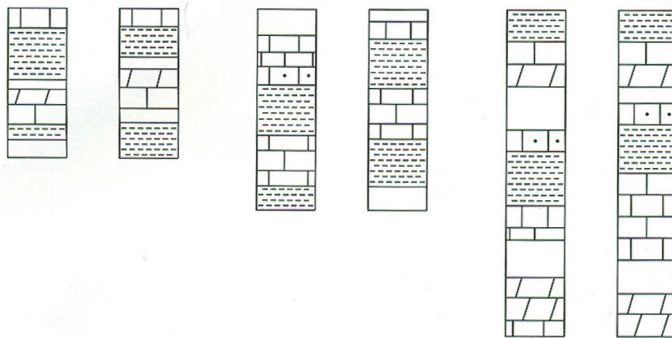
지층의 대비

멀리 떨어져 있는 지층일지라도 주상도에 나타난 암상과 화석을 이용해 지층을 대비할 수 있다. 암상만을 이용한 방법과 화석을 함께 이용하는 방법 등을 실습해 보자.

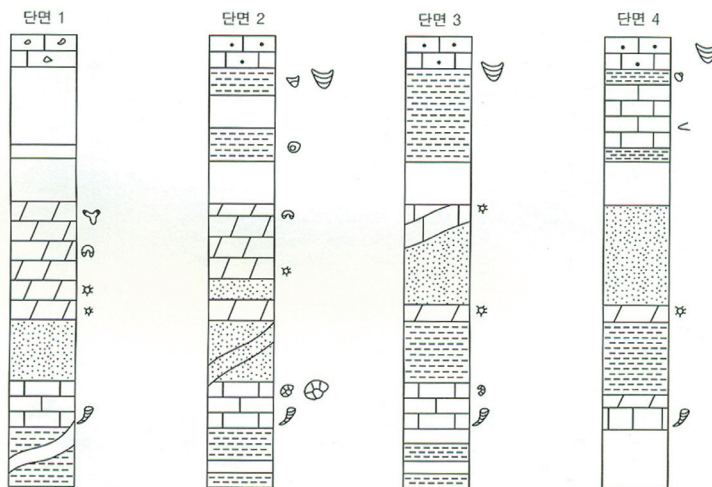
각 지역의 주상도를 자세히 살펴보고 지층의 성질, 지층의 층서, 동일한 지층의 추적, 화석, 부정합, 지층의 변화, 관입 관계 등을 고려하여 동일 시대에 형성된 암석을 연결한다.

결과 및 토의

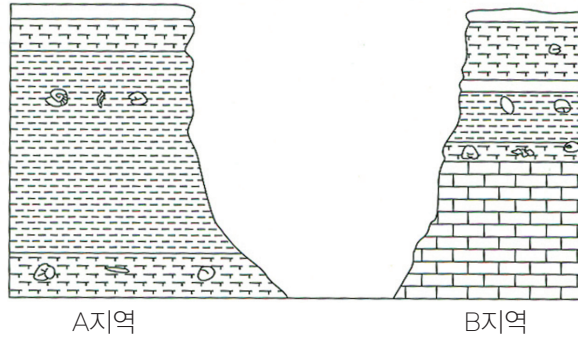
1) 암상의 유사성을 이용해 아래 지층을 대비해 보자.



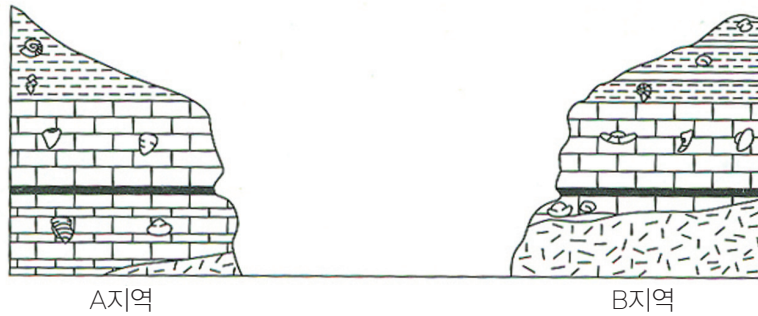
2) 암상의 유사성과 화석을 참고하여 지층을 대비해 보자.



3) 아래 두 지역의 지층을 대비해 보고 지층의 두께나 순서가 다른 이유를 설명해 보자.

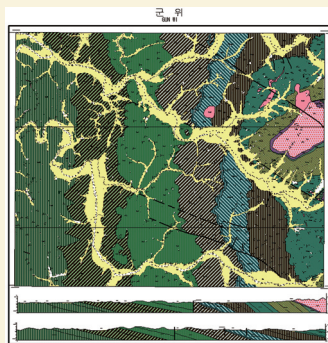


4) 아래 두 지역의 지층을 대비해 보고 지층이 퇴적된 과정을 설명해 보자.

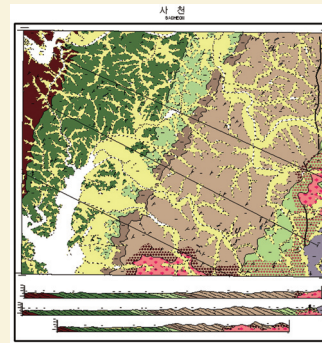


창의 탐구

한국지질자원연구원에서 지질도를 검색하여 서로 다른 두 지역(군위와 사천)의 지질도를 보고 지층을 대비해 보자.



〈군위 도폭〉



〈사천 도폭〉



II

지구의 물질과 변화



[단원 안내]

지각은 여러 종류의 암석으로 이루어져 있으며, 각 암석은 색이나 구성광물, 조직 등에 따라 세분된다. 광물은 지각을 이루는 기본 단위 물질로 일정한 화학성분과 물리적 성질을 가진다. 각 광물들은 내부를 구성하는 원자들의 종류, 배열상태 및 결합양식에 따라 물리적, 화학적 및 광학적으로 독특한 성질을 보인다. 암석은 이러한 광물입자들의 집합체로서 생성 원인에 따라 화성암, 퇴적암 및 변성암으로 구분되며, 이들은 생성 과정이 다르기 때문에 각기 다른 성분과 조직을 나타낸다.

이 단원에서는 먼저 편광현미경으로 본 광물의 광학적 특징에 대해 살펴보고, 육안 관찰을 통한 광물의 분류와 원소들의 결합구조에 대해 알아본다. 암석영역에서는 마그마의 기원, 퇴적환경, 변성작용에 대해 학습하며, 화성암, 퇴적암, 변성암을 분류하는 활동을 실시하게 된다. 마지막으로 화석을 통하여 고환경과 고생물의 진화경향을 해석하는 방법에 대해 살펴본다.

1

편광 현미경을 이용한 박편 관찰

암석을 구성하는 광물의 종류와 형태, 조직 등을 알아보기 위해서는 암석을 박편으로 만들어 편광 현미경으로 관찰한다. 편광 현미경이란 광물의 광학적 성질을 조사하기 위하여 만들어진 현미경으로 암석 박편에 편광을 통과시켜 각 광물의 광학적 특징을 알아보는 광학기계이다. 편광 현미경을 통하여 암석의 미세한 부분을 확대하거나 광물 결정을 관찰할 수 있다.

암석이나 광물을 편광 현미경에서 관찰하기 위해 박편(thin section)을 제작한다. 박편의 현미경 관찰은 광물이나 암석 연구의 기본이 되기 때문에 규정에 따른 박편의 정확한 제작은 중요한 의미를 갖는다. 박편 제작 과정은 다음과 같다.

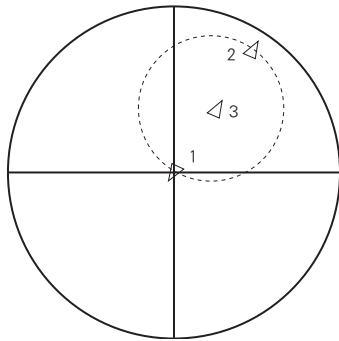
- 1) 관찰하고자 하는 암석이나 광물 시료에서 절단 위치를 선정한다.
- 2) 선정된 부위의 광물이나 암석 시료를 절단기를 사용하여 약 5~10 mm 두께로 절단한다.
- 3) 연마제를 유리판 위에 뿌린 뒤, 절단한 시료를 문질러 연마한다. 이때 연마제는 처음에 조립질로 시작하여 점차 세립질로 바꾸어 가면서 연마한다.
- 4) 연마편이 매끈하게 연마되었으면 깨끗이 세척한 후 가열판 위에서 약 250℃ 정도로 가열한다.
- 5) 에폭시와 경화제를 같은 양으로 섞은 후 섞은 양의 3배 정도의 톨루엔을 넣어 잘 저어 접착제를 만든다. 접착제로 시료의 연마면을 슬라이드 글라스에 부착한다. 이때 기포가 생기지 않도록 주의한다.
- 6) 접착제가 고화되면 슬라이드 글라스가 부착된 시료의 반대쪽을 연마기로 얇게 절단한 후 유리판에 연마제를 뿌리고 연마한다.
- 7) 철 연마판, 반투명 유리판, 투명유리판에 차례로 두께가 0.03 mm 정도가 되도록 연마한다. 이때 편광 현미경을 이용하여 암편의 두께를 수시로 확인한다.

편광 현미경을 사용하여 박편을 관찰할 때는 편광 현미경의 조정 과정을 거친 후에 사용하여 정확한 자료를 얻을 수 있다. 조정 과정은 다음과 같다.

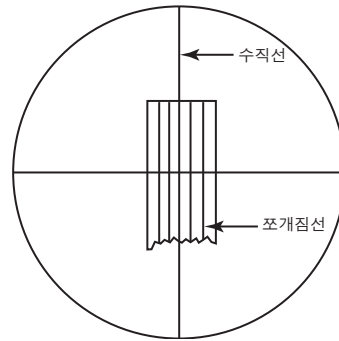
- 1) 편광 현미경에 연결된 전압을 확인한다.
- 2) 시야가 최대한 밝도록 조명을 조정한다. 이때 조명기의 조리개, 재물대 아래 튜브에 장치

된 조리개를 모두 개방하고 평행니콜로 만든다.

- 3) 대물렌즈의 중심조정(centering)을 한다. 중심조정을 위해 먼저 박편의 한 점을 십자선의 교점에 놓고, 재물대를 회전시키면서 그 점이 교점에서 이탈하는지를 알아본다. 만약 이탈하면 <그림 II-1>에서 보는 바와 같이 1의 위치에서 180° 회전시켜 2의 위치에 오게 한 후, 광물의 끝이 십자선의 교점과 광물의 끝 부분의 1/2 지점에 오도록(3의 위치) 대물렌즈 위에 부착된 조정 핀을 사용하여 조절한다. 정해진 점이 교점에서 이탈되지 않을 때까지 반복한다.
- 4) 편광판의 진동 방향을 조정한다. 진동 방향 조절 시 흑운모의 박편을 재물대에 놓고, 운모의 쪼개짐선과 십자선의 수직선을 일치시킨 후 하부 니콜의 조정 핀을 움직여서 흑운모가 가장 어두운 색이 나타나면 조정 레버를 고정한다. 재물대 위의 박편을 제거하고 상부 니콜의 조정 레버를 돌려서 시야가 완전히 어두워지도록 조절한다.



<그림 II-1> 중심 맞추기

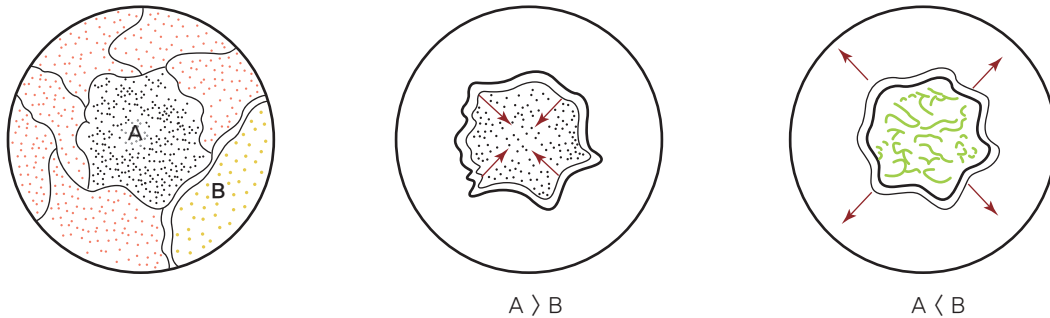


<그림 II-2> 편광판의 진동 방향 조절

이와 같이 편광 현미경 조정이 끝나면 암석 박편 관찰을 한다. 편광 현미경을 통하여 관찰할 수 있는 광물의 광학적 성질은 광물의 등방체 및 이방체 여부와 광물의 색상, 굴절률, 간섭색 등이다.

광학적 등방체와 이방체 광물을 구별하는 방법은 상부 니콜을 뺀 상태(개방 니콜)에서 빛이 통과하는 광물을 찾은 다음 상부 니콜을 삽입한 상태(직교 니콜)에서 재물대를 회전시키면서 관찰하여 광물을 식별할 수 있으면 이방체이고, 그렇지 않으면 등방체이다.

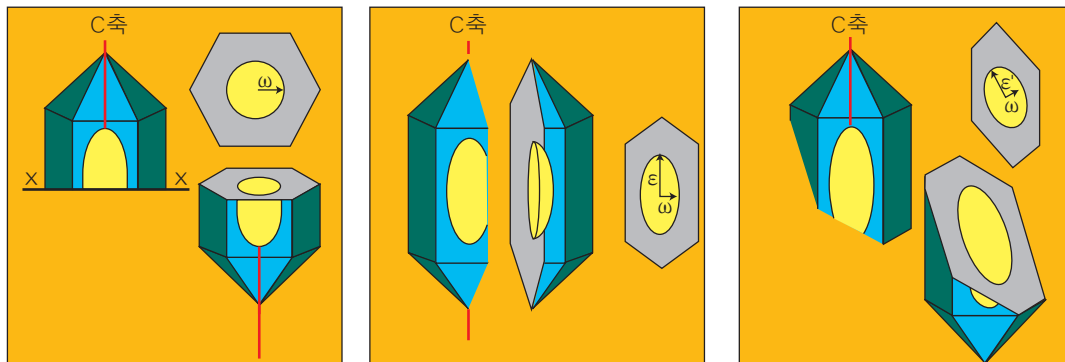
개방 니콜 하에서 광물의 색이나 다색성, 굴절률 등을 관찰할 수 있다. 다색성은 재물대를 회전시켰을 때 축각의 변화에 따른 색의 흡수도가 달라서 광물의 색이 변하는 현상이다. 광물의 굴절률은 1.4 정도에서 3.2 정도까지의 범위에서 각각 고유한 값을 가진다. 굴절률을 측정할 때는 조리개를 조여서 시야를 약간 어둡게 하고 두 광물의 경계에 초점을 맞추어 하얀 선을 찾는다. 이 선을 베케선(Becke line)이라 하며 굴절률 측정의 기준이 된다. 박편으로부터 대물 렌즈를 멀리할 때 베케선이 옮겨 가는 쪽이 굴절률이 크다.



〈그림 II-3〉 굴절을 측정

개방 니콜 하에서는 또한 쪼개짐을 관찰할 수 있다. 운모의 경우 쪼개짐 방향이 하나이며, 각섬석과 휘석은 두 방향이다. 쪼개짐의 방향이 두 개 이상이면 쪼개짐의 각도를 측정하는데 쪼개짐의 각도는 쪼개짐의 한 방향을 십자선에 나란하게 조정하고 각도를 읽는다. 그리고 다른 쪼개짐 방향이 같은 십자선에 나란하게 되도록 회전대를 돌린 후 각도를 읽으면 그 차이가 쪼개짐 각도가 된다.

직교 니콜로 관찰할 수 있는 현상은 간섭색, 소광, 쌍정, 누대구조 등이 있다. 이방체 광물 박편을 재물대에 올려놓고 회전시켜서 관찰하면 보이는 색과 명암의 변화가 생기는데 이때 광물이 가장 밝게 보일 때의 색을 최대 간섭색이라고 한다. 간섭색을 지배하는 요소는 광축에 대해 그 결정이 잘린 방향, 두께, 각 결정이 갖는 최대·최소의 굴절률 차이 등이다.



광축에 수직으로 잘림 → 어두운 색

광축에 평행하게 잘림 → 밝은 색

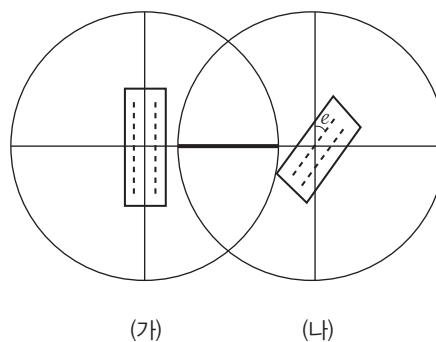
광축에 불규칙하게 잘림 → 다양

〈그림 II-4〉 석영 결정에서 간섭색이 나타나는 원리

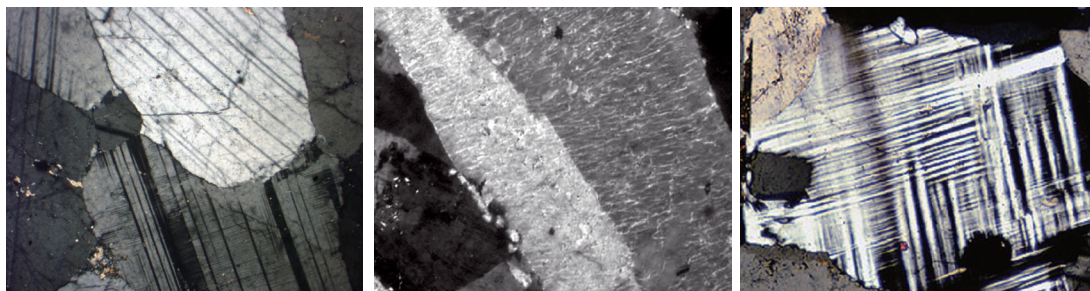
소광 현상은 재물대를 회전시킬 때 90° 마다 한번 씩 암흑이 되는 현상이다. 소광각을 측정할 때는 광물의 결정면, 벽개 구조 및 광축 방향 등에 따라 소광 여부를 확인한 다음 측정한다. 이때 소광각은 광물의 결정면(C축)이 십자선과 나란하게 되었을 때의 각과 광물의 밝기가 가장

어두웠을 때의 각과의 차이로 측정한다. 이때 소광각이 0° 인 경우를 평행 소광 또는 직소광이라고 하고 <그림 II-5>의 (나)처럼 소광각이 θ 인 경우를 사소광이라고 한다.

같은 종류의 광물에서 두 개 또는 그 이상의 결정이 특정한 면이나 축에 대하여 대칭적으로 결합하여 연정(intergrowth)을 이루고 있는 결정을 쌍정(twin)이라고 한다. 편광 현미경 하에서는 간섭색 또는 소광 위치가 다른 두 가지 이상의 부분으로서 인식되며, 알바이트 쌍정, 칼스바드 쌍정, 격자 쌍정 등이 있다(<그림 II-6>). 또한 결정 중앙부와 외측 부분에서 성분이 다르기 때문에 간섭색이 동심원 상태로 변화하는 현상을 누대구조(zonal structure)라고 한다.



<그림 II-5> 평행 소광(가)과 사소광(나)



알바이트 쌍정

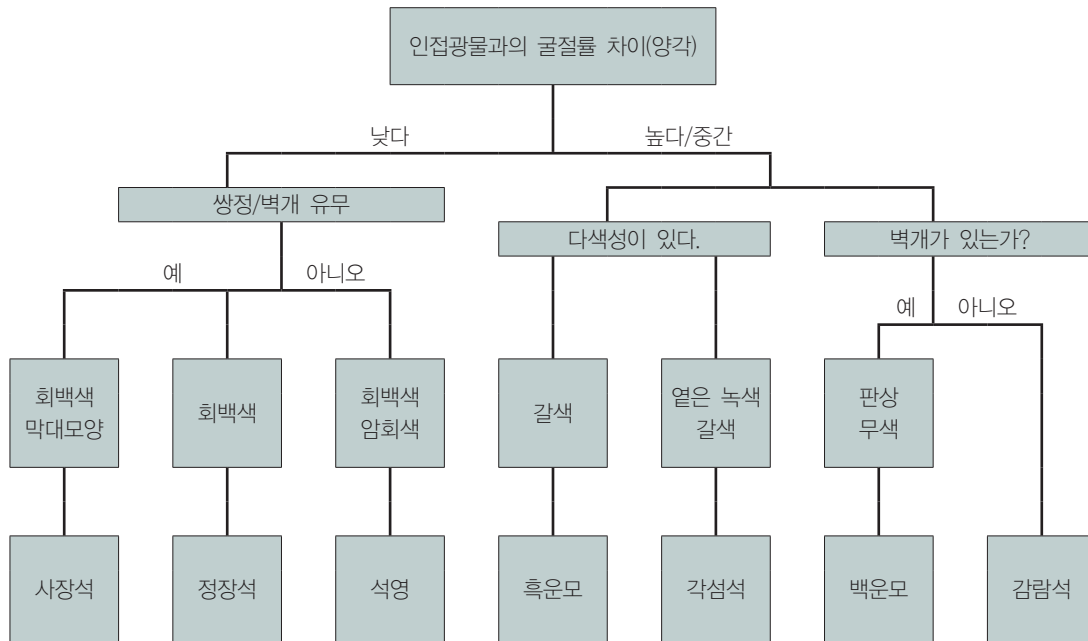
칼스바드 쌍정

격자 쌍정

<그림 II-6> 장석 결정에서 관찰한 쌍정의 모습

편광 현미경 하에서 이방성 광물에 수렴광을 입사시켰을 때 나타나는 현상을 간섭상이라고 한다. 간섭상은 광물의 광학적 부호를 결정하는데 사용되며, 간섭상을 관찰하기 위해서는 재물대에 박편을 놓고 소광 위치에 고정시킨 후 집광렌즈와 고배율의 대물렌즈, 멀티랜드 렌즈를 사용한다.

〈표 II-1〉 편광 현미경 하에서 조암 광물의 분류 흐름도



탐 구 활 동

준비물 | 편광 현미경, 정장석, 사장석, 석영, 흑운모, 각섬석, 휘석, 감람석 등 조암광물이 뚜렷하게 관찰되는 암석 박편

박편 관찰을 통한 광물의 분류

조암 광물의 식별에 있어서 일차적으로 육안을 통한 식별이 불가능한 경우 박편을 제작하여 관찰함으로써 광물을 분류할 수 있다. 이 활동에서는 먼저 편광 현미경의 원리에 대해 알아보고, 암석 박편을 이용하여 편광 현미경을 통해 본 주요 조암 광물의 특징을 살펴보자.

편광 현미경에 의한 광학적 성질을 이용하여 광물을 분류하기 위하여 다음과 같은 과정을 거친다.

- 1) 편광 현미경의 전원을 켜고 밝기를 조정한다.
- 2) 편광 현미경의 각 부분을 작동하여 대물 렌즈의 중심조정 및 편광판의 진동 방향 조정을 실시한다.
- 3) 상부 니콜을 빼고 개방 니콜에서 재물대를 회전하면서 광물의 색, 다색성, 쪼개짐, 굴절률 등을 관찰한다.
- 4) 상부 니콜을 넣고 직교 니콜에서 재물대를 회전하면서 간섭색, 소광 현상, 소광각, 쌍정, 누대구조 등을 관찰한다.
- 5) 색, 다색성, 소광 현상, 소광각, 간섭색, 쪼개짐, 굴절률, 쌍정, 누대 구조 등 광물의 광학적 성질을 관찰·측정하여 주요 조암 광물들의 특징을 기준으로 관찰한 광물들을 감정한다.

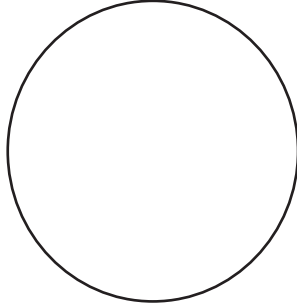
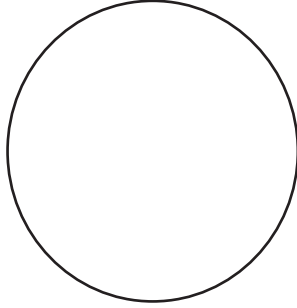
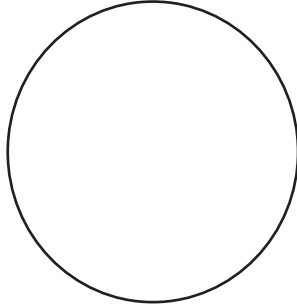
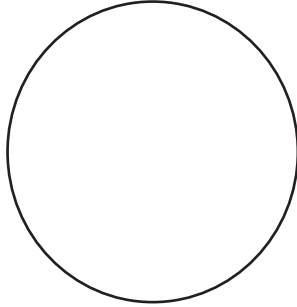
결과 및 토의

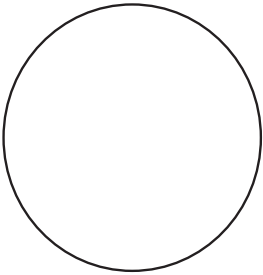
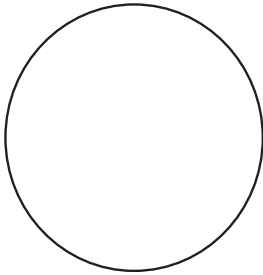
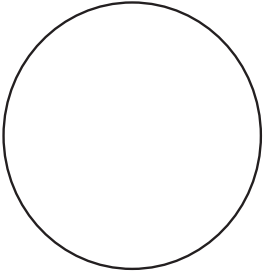
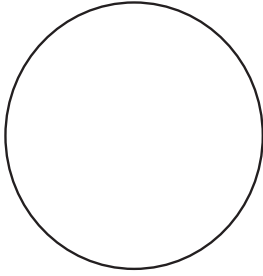
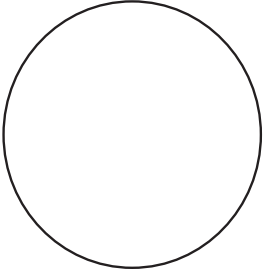
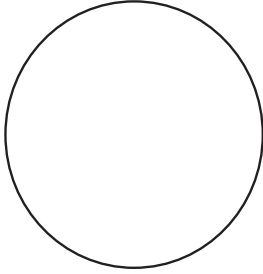
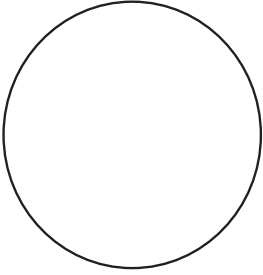
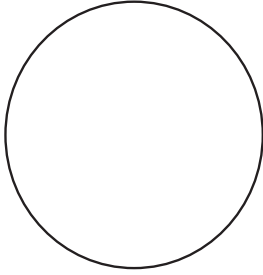
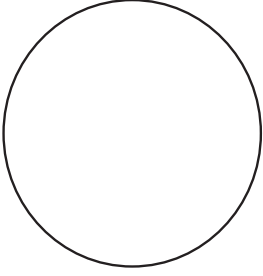
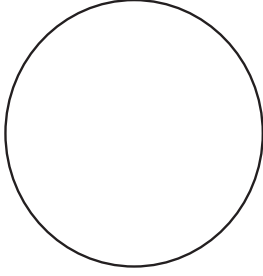
1) 편광 현미경의 원리 이해

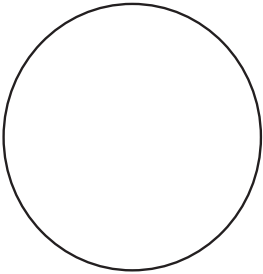
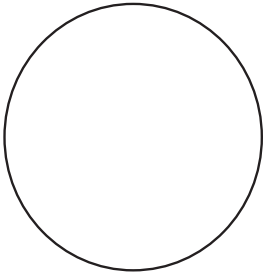
- ① 하나의 편광판을 눈에 가까이 대고 물체를 관찰해 보자. 맨 눈으로 볼 때와 비교하여 다른 점이 있는가? 있다면 그 이유는 무엇인가?
- ② 두 개의 편광판을 서로 겹친 후, 하나의 편광판을 서서히 돌리면서 물체를 관찰해 보자. 물체가 보이지 않을 때는 언제이고, 왜 그런 현상이 나타나는가?
- ③ 편광 현미경이 생물 현미경과 다른 점은 무엇인지 찾아보자.

2) 편광 현미경을 통해 본 광물의 특징

- ① 감람석, 휘석, 각섬석, 흑운모, 정장석, 사장석, 석영을 개방 니콜과 직교 니콜 하에서 각각 관찰하고 스케치해 보자.

광물명	개방 니콜	직교 니콜
감람석		
사방휘석		

단사회석		
각섬석		
흑운모		
정장석		
사장석		

석영		
----	---	--

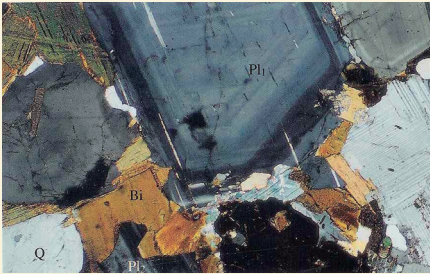
② 편광 현미경 하에서 관찰한 조암 광물들의 광학적 성질을 기술해 보자.

광물	개방 니콜					직교 니콜		
	색	다색성	형태	굴절률	쪼개짐 및 기타	간섭색	소광각	기타
감람석								
사방휘석								
단사휘석								
각섬석								
흑운모								
정장석								
사장석								
석영								



창 의 탐 구

아래 그림은 편광 현미경을 통해 관찰한 박편의 모습이다. 그림에서 사장석(Pi) 결정의 내부에서 가장자리 쪽으로 띠 모양으로 나타나는 조직의 명칭과 이런 조직이 생성되는 과정을 토의해 보자.



(Q : 석영, Bi : 흑운모, Pi : 사장석)

2

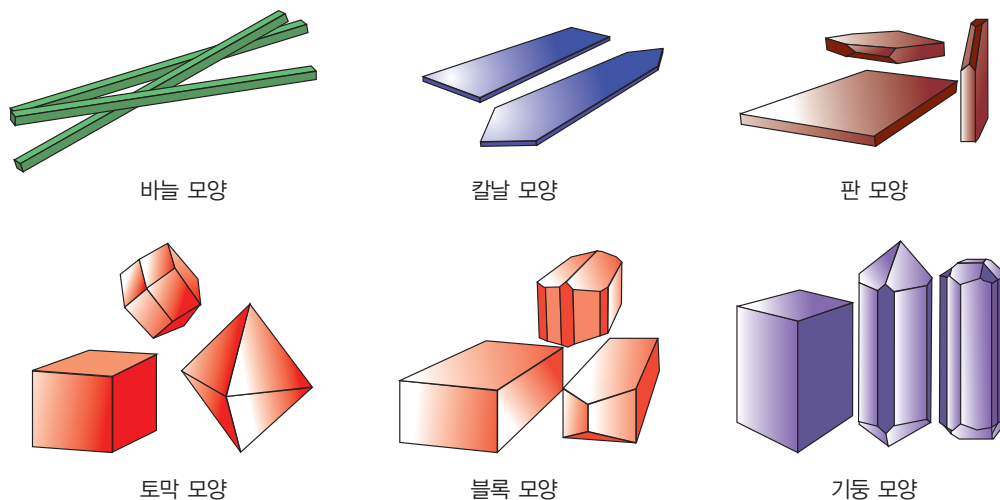
광물의 관찰과 분류

광물은 학문 영역에 따라 의미의 차이가 있지만 지구과학 영역에서 광물의 의미는 자연계에서 산출되는 무기물의 고체로 일정한 화학 성분과 특정한 결정 구조를 갖고 있는 원소 또는 화합물이다. 현재 약 3500여 종의 광물이 알려져 있으나 계속해서 새로운 광물이 속속 발견되어 종수가 증가하고 있다. 광물은 그들의 화학 성분이나 물리적 특징에 의해 분류되어 명명된다. 따라서 각 광물들은 구성 원자의 배열상태나 결합 양식, 그리고 화학 조성에 따라 물리적, 화학적, 광학적으로 특유의 성질을 나타내며, 이를 이용하여 광물을 감정하여 분류할 수 있다.

광물을 분류하기 위해서는 광물의 일반적인 특성인 결정형, 색, 광택, 깨짐과 쪼개짐, 굳기, 그 외 염산 반응, 자성, 밀도와 비중 등을 이용한다.

1. 결정형

광물 결정은 광물이 빈 공간에서 자유롭게 성장하여 나타난 외형이다. 광물의 결정 형태는 결정의 내부 구조 즉, 광물을 구성하는 원소들의 기하학적인 배열 상태를 나타내는 것이다. 이상적인 결정의 생성은 빈 공간에서 자유롭게 성장할 수 있을 때만 가능하며, 자연 상태에서 광



〈그림 II-7〉 일반적인 광물 결정 형태의 모식도

물이 성장할 때 빈 공간이 쉽게 주어지지 않기 때문에 고유의 결정형을 나타내는 것이 그리 흔치 않다. 그림 II-7은 흔히 볼 수 있는 광물 결정의 형태를 모식화한 것이다.

◆ 해보기

오른쪽 그림은 석영과 정장석의 결정 모습이다. <그림 II-7>을 참고하여 결정형을 말해 보자.



석영



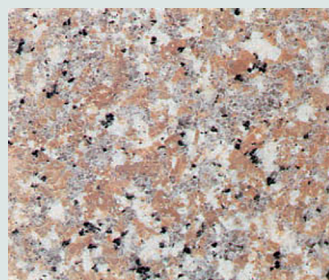
정장석

2. 색

광물의 색(color)은 광물의 가장 뚜렷한 특성이며, 따라서 광물을 구별하는데 유용하게 사용된다. 광물이 색을 띠는 것은 가시광선이 광물에 입사할 때 일부 파장은 흡수되고, 흡수되지 않은 파장들이 광물을 통과 또는 반사하여 나타나기 때문이다. 광물을 구성하고 있는 주 구성 원소에 의해 색을 띠게 될 경우 자색이라 하며, 주 구성 원소가 아닌 불순물 형태로 존재하는 원소에 의해 나타나면 타색이라 한다. 타색을 띠게 하는 원소를 발색소라 하며, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu 등의 전이 원소들이 여기에 속한다.

◆ 해보기

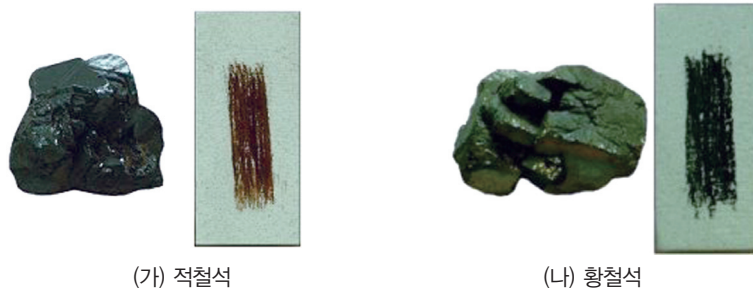
오른쪽 그림은 화강암의 표면 모습이다. 색으로만 분류했을 때 이 암석은 몇 종류의 광물로 이루어져 있는가? 또한 각 색에 해당하는 광물의 이름을 말해 보자.



3. 조흔색

광물을 분말로 만들었을 때 <그림 II-8>과 같이 나타나는 색깔을 조흔색(streak color)이라

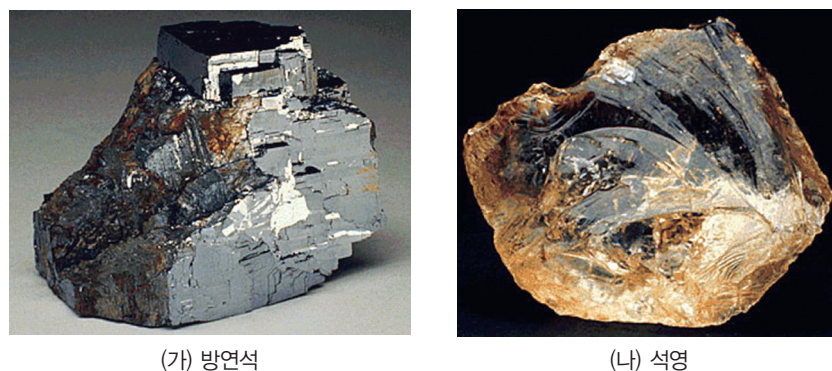
고 하는데 보통 색이 비슷한 광물 간의 조흔색이 다를 경우 이들을 구별하는데 유용하게 이용된다. 조흔색은 조흔판이라는 초벌구이 도자기를 사용하여 간단히 알아 볼 수 있다. 조흔색은 주로 불투명한 금속 광물의 감정에 사용된다.



〈그림 II-8〉 조흔색

4. 광택

광택(luster)은 광물의 표면에서 빛이 반사할 때 빛의 특성이나 광도에 따라 우리 눈이 받는 느낌으로 〈그림 II-9〉와 같이 금속 광택과 비금속 광택으로 나누어진다. 금속광택은 연마된 금속 광물 평면에 나타나는 번쩍거리는 느낌을 말하며, 비금속광택은 유리에서 나타나는 유리 광택, 수지같이 나타나는 수지 광택, 진주에서 나타나는 진주 광택, 기름띠처럼 나타나는 지방 광택 등으로 나눌 수 있다.



〈그림 II-9〉 금속 광택(가)과 비금속 광택(나)

5. 깨짐과 쪼개짐

광물 내부의 원자 배열에 따라 모든 방향으로 결합력이 같은 것을 등방성 광물, 방향에 따라 결합력이 다른 것을 이방성 광물이라고 한다. 이방성 광물의 경우 물리적인 힘을 가할 때 결합

력이 약한 면을 따라 일정한 방향으로 평탄한 면을 보이면서 쪼개지는 경우가 있는데 이를 쪼개짐(cleavage) 또는 벽개라고 부른다. 그리고 모든 방향으로 원자 간의 결합력이 비슷한 광물의 경우 임의의 방향으로 불평탄한 면을 보이면서 깨어지는 성질을 보이는데 이 경우는 깨짐(fracture) 또는 단구라고 한다.

◆ 해보기

오른쪽 그림의 석영과 백운모 결정에서 쪼개지는 성질을 가진 것과 깨지는 성질을 가진 것을 구분해 보자. 쪼개짐이 발달하는 경우 쪼개짐 방향이 몇 개인지 말해 보자.



석영

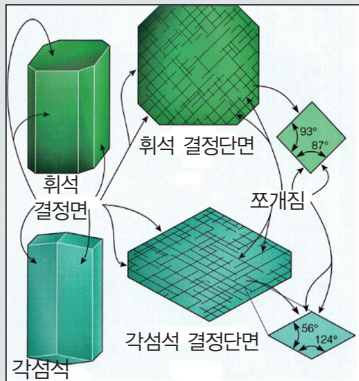


백운모

6. 굳기

굳기(hardness)는 광물의 역학적인 변형에 대한 저항 정도, 즉 광물의 단단한 정도이다. 광물의 굳기는 광물을 구성하는 원소의 화학적 결합력에 따라 좌우되는 성질 중의 하나로 결합력이 강할수록 단단하다. 또한 원자의 크기가 작고, 전하량이 크며 원자 간의 거리가 가까울수록 광물의 굳기가 높다.

◆ 참고 자료 - 결정면과 쪼개짐의 구별



광물을 관찰할 때 간혹 결정면과 쪼개짐 면을 혼동하는 경우가 있다. 결정면은 결정이 성장할 때 자형으로 성장한 결정 외부의 평탄한 면이다. 쪼개짐 면은 광물결정 내에서 결합력이 약해 생기는 면으로 왼쪽 그림에서와 같이 회석은 두 방향의 쪼개짐 면이 약 90°방향으로 교차하고 있다. 반면에 각섬석의 쪼개짐 면은 56°와 124°의 각도로 만나고 있다.

7. 광물 분류 흐름도

색	⇒	굳기	⇒	조개짐	⇒	기타 특징	⇒	광물명		
밝은색	⇒	5.5 이상 유리에 긁히지 않음	⇒	양호	⇒	흰색-회색, 2방향 조개짐, 굳기:6	⇒	사장석		
				불량	⇒	갈색-핑크, 2방향 조개짐, 굳기:6	⇒	정장석		
		5.5 ~2.5 유리에 긁힘 손톱에 긁히지 않음		⇒	양호	⇒	무색, 회색, 유리광택, 패각상 깨짐, 굳기:7	⇒	석영	
						⇒	흰색, 황색, 무색, 굳기:2.5~5.5, 염산 반응, 세방향 조개짐(75°)	⇒	방해석	
		손톱에 긁히지 않음		⇒	양호	⇒	흰색-무색, 굳기:2.5~5.5, 짠맛, 세방향 조개짐(직각)	⇒	암염	
						⇒	무색, 투명, 탄성, 판상, 한 방향 조개짐, 굳기:2.5이하	⇒	백운모	
			⇒	불량	⇒	흰색, 투명, 탄성 없음, 판상, 굳기:2.5이하	⇒	석고		
					⇒	흰색, 핑크, 녹색, 얇음, 침상, 비누 촉감, 진주 광택, 굳기:2.5 이하	⇒	활석		
							⇒	황색, 유황냄새, 굳기:2.5이하	⇒	황
		어두운 색	⇒	5.5 이상 유리에 긁히지 않음	⇒	양호	⇒	흑색-녹흑색, 두 방향 조개짐(56°-124°), 굳기:5-6	⇒	각섬석
⇒	갈색-녹흑색, 두 방향 조개짐(약 90°), 굳기:5-6						⇒	휘석		
불량	⇒					녹색, 둥근 모양, 깨짐, 굳기:6-7	⇒	감람석		
	⇒					투명-반투명, 적색, 굳기:7	⇒	석류석		
5.5 이하 유리에 긁힘	⇒			양호	⇒	암갈색-흑색, 탄성, 한 방향 조개짐, 굳기:2.5-3	⇒	흑운모		
					⇒	녹색, 한방향의 조개짐, 굳기:2-3	⇒	녹니석		
	⇒			불량	⇒	갈색, 변색되면 녹색, 괴상, 굳기:2.5	⇒	자연동		
					⇒	투명-반투명, 녹색, 갈색, 청색, 자주색, 패각상 깨짐, 굳기:5	⇒	인회석		

광물의 분류

광물의 성질은 화학 구성과 결정 구조에 의해서 정해진다. 하지만 광물을 감정하여 분류하기 위해서 광물의 화학 구성과 결정 구조를 반드시 확인할 필요는 없다. 광물이 가지고 있는 고유의 특성인 결정의 형태, 쪼개짐, 광택, 색, 굳기, 비중 등의 관찰을 통하여 광물을 분류할 수 있다.

광물을 분류하기 위해서는 우선 주어진 광물 표품(감람석, 휘석, 각섬석, 흑운모, 백운모, 정장석, 사장석, 방해석, 석류석, 암염, 석고, 활석 등)을 각종 기구와 약품을 활용하여 광물의 물리·화학적 특성을 관찰하고 조사한다. 관찰과 조사를 통해서 밝혀진 표품의 여러 특징들을 광물 분류 흐름도에 적용하여 관찰한 광물의 이름을 결정한다.

광물을 관찰하고 분류하기 위해서는 다음과 같은 내용을 참고한다.

- 광물의 색을 관찰한다.
- 광택을 관찰할 때는 광물의 신선한 면을 밝은 곳에 놓고 빛이 반사되는 것을 관찰한다.
- 조흔색은 조흔판에 그어서 관찰한다.
- 굳기는 모스 굳기계의 광물과 손톱, 동전, 칼, 유리, 조흔판 등을 이용하여 결정한다.
- 망치로 충격을 주어 쪼개짐 발달과 깨짐을 판단한다.
- 자석을 사용하여 광물의 자성 유무를 판단한다.
- 탄산염 광물의 분류는 묶은 염산과의 반응 여부로 판단한다.

결과 및 토의

광물 표품을 관찰한 내용을 표에 정리해 보자.

관공서 워크시트

[illegible]



창의 탐구

1) 다음의 광물들을 물리·화학적 성질을 이용하여 분류하고자 한다.

석영, 방해석, 각섬석, 휘석

① 광물 분류 기준을 각 단계별로 구상해 보자.

1단계 :

2단계 :

3단계 :

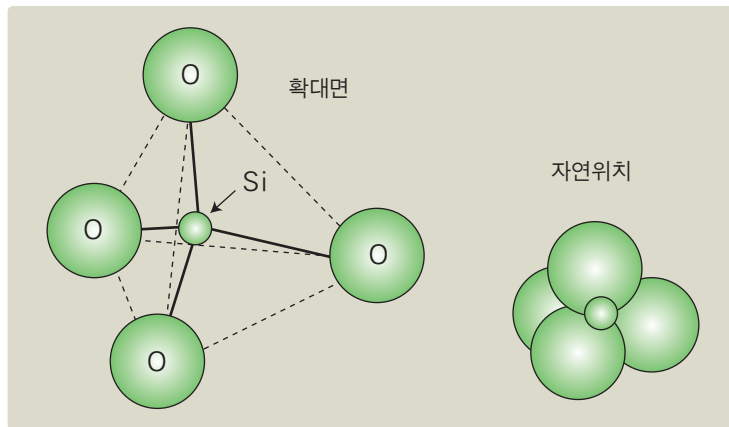
② 구상한 단계별로 광물 분류 설계도를 작성해 보자.

2) 광물은 자연계에서 산출되는 원소의 결합체이다. 현재까지 지구상에서 발견된 광물의 수는 자연계에서 산출되는 원소를 합성하여 만든 화합물의 종류에 비하면 그 종수는 극히 적은 편인데 이유를 생각해 보자.

3

광물의 구조

규산염 광물은 지구의 지각과 상부 맨틀의 약 90% 이상을 차지하며, 화성암의 주요 구성광물로 산출되고 있을 뿐만 아니라 퇴적암과 변성암에도 많은 양이 존재한다. 지금까지 알려진 약 600여 종의 규산염 광물 중 실리카 광물 군, 장석 군, 각섬석 군, 휘석 군, 운모 군, 감람석 군 광물이 중요한 조암광물에 해당된다. 광물들의 형태는 광물을 구성하고 있는 원자들의 내부 배열 상태, 즉 결정 구조에 따라 달라지는데 이러한 결정 구조를 파악하게 되면 광물의 여러 가지 성질을 알 수 있다.



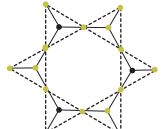
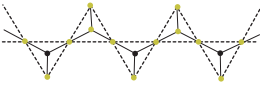
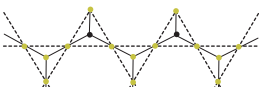
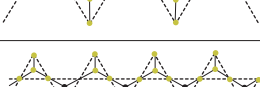
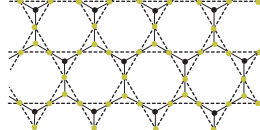
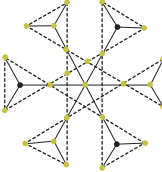
〈그림 II-10〉 규소-산소 사면체 구조

규산염 광물의 기본구조는 SiO_4 사면체로서 〈그림 II-10〉에서와 같이 산소 이온 4개로 된 사면체 중심에 규소 이온 하나가 들어있는 복합 이온으로 사면체 전체의 전하는 -4이며 $(\text{SiO}_4)^{4-}$ 로 표시한다. 모든 규산염 광물은 $(\text{SiO}_4)^{4-}$ 사면체를 기본 단위로 하여 이웃한 사면체와 산소 원자를 공유하거나 산소가 주위의 양이온과 다양한 방법으로 결합하여 여러 가지 구조를 나타내는데 이러한 구조의 위상은 규산염 광물을 분류하는 기초가 된다.

〈표 II-2〉는 SiO_4^{4-} 사면체의 결합 구조 모형을 나타낸 것이다. 그림에서 네소(neso) 규산염(독립 사면체 형)은 SiO_4^{4-} 사면체가 꼭지점의 산소 원자를 공유하지 않고 독립된 규산 이온

을 이루고 있는 것이며 소로(soro) 규산염(복사면체 형)은 하나의 산소 원자가 2개의 사면체에 의해 공유된 복사면체 군으로 구성된 규산염 광물이다. 사이클로 규산염(환상 구조형)은 규산염 광물의 기본 구조 단위인 SiO_4^{4-} 사면체의 결합 방식이 각 사면체가 원모양으로 서로 연결되어 닫힌 환상 구조 형을 띠고 있는 것을 말하며 전하수에 따라 3각 환형, 4각 환형, 6각 환형 구조가 있다. 이노 규산염(쇄상 구조형)은 각 사면체가 2개의 산소 원자를 공유하는 단일 사슬 구조(단쇄상)와 2개의 단쇄상 구조가 연결된 복쇄상 구조로 나뉘어진다. 필로 규산염(층상 구조형)은 각 사면체가 하나의 산소 원자를 다른 3개의 사면체와 서로 공유하는 층상 구조를 갖고 있고, 텍토 규산염(망상 구조형)은 각 사면체가 모든 산소 원자를 다른 사면체와 공유하는 3차원 망상 구조 형태를 이루고 있다. 이와 같은 각 결정 구조에서 공유하지 않은 산소는 다른 양이온인 Al, Fe, Ca, K, Na, Mg 등과 결합하여 여러 종류의 규산염 광물을 만든다. 여기서 규산염 사면체의 산소와 양 이온과의 결합은 공유 산소에 의한 사면체 간의 결합보다 결합력이 약하므로 이 면을 따라 쉽게 분리되는 성질을 가진다. 조암 광물에서 쪼개짐이 이 면을 따라 발달하는 것이다. 대표적인 규산염 광물로는 감람석, 휘석, 각섬석, 흑운모, 백운모, 장석류, 석영 등이 있으며, 이들은 각각 특유의 SiO_4^{4-} 사면체 구조를 가지고 있다.

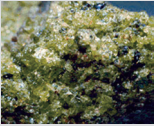
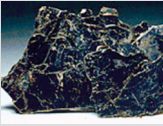
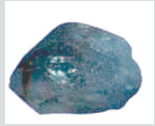
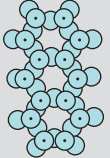
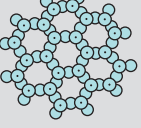
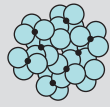
〈표 II-2〉 SiO_4^{4-} 시면체의 결합 구조 모형

구분	네소(neso) 규산염	소로 (soro) 규산염	시아클로(cucio) 규산염				이노(fino) 규산염		필로 (phyllo) 규산염	텍토 (tecto) 규산염
구조형	독립시면체형	복시면체형	환상 구조			단쇄상 구조	(쇄상)형		층상 구조	입체 망상형
			3각 환형	4각 환형	6각 환형		복쇄상 구조			
구조식	$(\text{SiO}_4)^{4-}$	$(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$	$(\text{Si}_3\text{O}_9)^{6-}$	$(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{8-}$	$(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$	$(\text{SiO}_3)^{2-}$	$(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$	$(\text{Si}_6\text{O}_{10})^{4-}$	SiO_2	
Si : O	1 : 4	2 : 7	1 : 3	1 : 3	1 : 3	1 : 3	4 : 11	2 : 5	1 : 2	
공유 산소	0	1	2	2	2	2	2~3	3	4	
(SiO_4) 시면체의 배 열										
광물	감람석 (Mg, Fe) SiO_4	메릴라이트 Ca_2Mg Si_2O_7 이극석 $\text{Zn}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ (OH) ₂ H_2O	베니토아이트 $\text{BaTiSi}_3\text{O}_9$	아만석 $\text{KCa}_2\text{Si}_8\text{O}_{20}$ (F, OH) $-8\text{H}_2\text{O}$	녹주석 $\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ 전기석 (Na, Ca) $\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3$ $\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$ 근청석 (Mg, Fe) $\text{Al}_2\text{Si}_5\text{O}_{18}$	투회석 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ 규회석 CaSiO_3	투각섬석 $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$ (OH) ₂ 엔토피라이트 (Mg, Fe) Si_6O_{12} (OH) ₂	활석 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 개올리나이트 $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ 백운모 $\text{KAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$ 흑운모 $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3$ (Al) $\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	석영 SiO_2 정작석 KAlSi_3O_8 네펠린 KAlSi_3O_8 아날심 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$	

규산염 광물의 구조

규산염 광물은 하나의 규소 원자를 네 개의 산소 원자가 일정한 간격으로 둘러싸고 있는 사면체 모양의 구조가 기본단위이다. 이 장에서는 각종 규산염 광물의 결정 구조 모형을 직접 제작해 보는 활동을 통해 광물의 구조를 이해할 수 있다. 또한 야외 노두 조사 때 광물의 물리적, 화학적 특성을 보고 감별할 수 있는 능력을 기른다.

다음 표는 주요 규산염 광물의 화학 성분과 SiO_4 결합 형태를 나타낸 것이다.

광물 모습					
	감람석	휘석	각섬석	흑운모	석영
규산염 사면체의 결합 형태 • : 규소 ○ : 산소					
화학성분	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	$(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6 / \text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$	$(\text{Mg,Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2 / \text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{Al})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	SiO_2
구조 명	독립 사면체	단쇄상	복쇄상	층상	망상

- 1) 스티로폼 구를 이용한 규산염 광물의 기본형을 만들어 보자.
- 2) 위의 표를 참고하여 단쇄상, 복쇄상, 층상, 망상 구조를 만들어 보자. 보다 정확하고 견고하게 만들기 위해 각자 창의적인 아이디어를 고안해 보자.
- 3) 완성된 구조와 각 광물의 쪼개짐이나 깨짐 같은 물리적 성질과의 관련성을 생각해 보자.

결과 및 토의

- 1) 각 광물 결정 구조에 결합된 규소와 산소의 스티로폼의 개수 비는 어떠한가?
- 2) 규소와 산소의 결합 비에 일관성이 있는가? 있다면 어떤 일관성을 갖는가?
- 3) 광물 구성 원소들의 결합 구조와 관계있는 광물의 물리적 성질은 무엇이라고 생각되는가?
- 4) 흑운모가 비늘처럼 얇게 벗겨지는 현상과 위 광물 결정 구조와의 관련성을 설명해 보자.



창의 탐구

- 1) 규산염 광물의 기본 구조가 SiO_4 사면체인 이유가 무엇일까?
- 2) 감람석, 휘석, 각섬석, 흑운모 등의 유색광물이 석영이나 장석 등의 무색광물보다 비중이 큰 이유에 대해 설명해 보자.

4

화성암과 마그마의 기원

마그마(magma)는 복잡한 규산염 용융체 및 고체, 그리고 휘발성 성분의 혼합물로서 다양한 성분, 온도, 결정의 함량, 휘발성분 함량을 갖는다. 이로 인해 마그마는 유동학적 특성이나 분출 유형이 다양하게 나타난다. 마그마는 기원적으로 서로 다른 역사를 가질 수 있으며 유동 과정에서 많은 변화를 겪을 것이다. 또한 마그마는 지하 내부에서 관입체로 결정화하여 심성암이나 반심성암을 만들 수 있고 지표로 분출하여 화산암이 될 수 있다.



(가) 열극 분출



(나) 중심 분출

〈그림 II-11〉 화산 분출 유형

1. 마그마의 기원

현무암질 마그마는 판이 서로 반대 방향으로 이동하여 압력이 감소하는 대양저 산맥 하부에서 발생한다. 또한 맨틀의 부분 용융, 또는 상·하부 맨틀 경계부나 하부 맨틀과 외핵의 경계부에서 상승한 플룸이 압력 하강과 동반되어 부분 용융되면서 생긴다. 반면에 화강암질 마그마는 주로 하부지각이 부분 용융되어 생성된다.

마그마의 기원 물질과 생성은 상부 맨틀이나 하부 지각 암석의 부분 용융이다. 대부분의 암석은 두 종류 이상의 광물로 이루어져 있으며, 구성 광물은 각각 용융 온도가 다르다. 암석의 용융에 영향을 끼치는 주 요인은 온도, 압력, 물, 기타 휘발성 물질의 양, 그리고 암석의 성분

이다. 암석은 온도가 높아지거나 지하심부의 높은 온도에서 압력이 낮아지면 녹기 시작한다. 용융된 물질의 성분은 원래 암석의 성분과 차이를 보이는데 이는 부분 용융 때문이다. 반대로, 마그마가 냉각될 때 광물들이 일정한 순서로 정출된다. 정출 작용이 일어날 때 남은 마그마 액상은 정출된 결정들로부터 분리되면서 마그마 화학 조성의 변화를 가져오게 되는데 이것을 마그마 분화 작용이라 한다.

2. 마그마의 결정 분화 작용

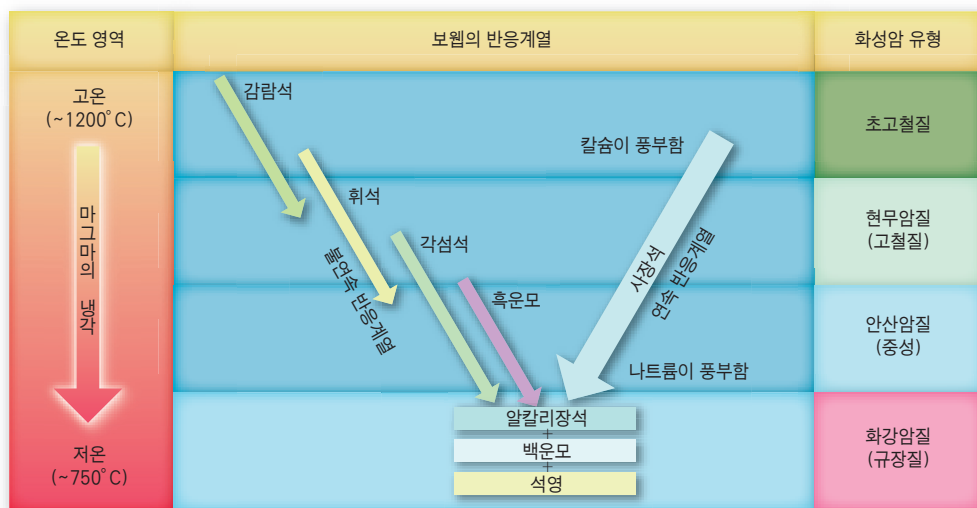
지각 내에 관입한 마그마가 냉각되기 시작하면 결정화 작용이 일어나면서 용융점이 높은 광물부터 차례로 정출된다.

1) 연속 반응 계열

사장석은 고용체로 나타나며 칼슘이 풍부한 사장석에서 상대적으로 나트륨이 풍부한 사장석에 이르기까지 연속적인 성분 변화를 보인다. 초기에 정출되는 사장석은 칼슘 성분이 풍부하기 때문에 남은 마그마의 칼슘 성분은 적어지며 상대적으로 나트륨 성분은 많아진다. 따라서 결정 분화작용이 진행됨에 따라 상대적으로 나트륨 성분이 많은 결정이 정출된다. 이와 같이 연속 반응 계열에서는 먼저 생성된 결정이 잔류 용액과 계속 반응하여 새로운 성분의 결정이 만들어진다.

2) 불연속 반응 계열

마그마 내에서는 사장석이 연속 반응을 통하여 정출되며, 또한 감람석, 휘석, 각섬석 등의 조



〈그림 II-12〉 보웬 반응계열

암광물이 정출된다. 가장 먼저 감람석이 정출되며, 일정 온도에 도달하면 휘석이 정출되기 시작하고, 휘석은 잔류 마그마와 반응하여 각섬석이 되고, 그리고 각섬석은 또다시 잔류 마그마와 반응하여 흑운모를 정출시킨다. 이와 같은 과정을 불연속 반응 계열이라고 하는데, 사장석과 같은 연속 반응계열에서는 연속적으로 결정의 성분 변화가 이루어지지만, 불연속 반응 계열에서는 특정 온도에서만 광물의 변이가 일어난다. 불연속 계열에 속하는 광물의 결정 구조는 온도가 내려가면서 점차 복잡하게 되는 경향을 보인다.

3. 마그마의 분화

반응계열에서 초기에 정출된 감람석과 같은 결정이 비중에 의해 바닥으로 가라앉아 분리됨으로써 마그마는 분화된다. 마그마 분화 과정에서 초기 마그마로부터 생성된 암석은 감람석과 휘석 등의 유색광물과 Ca사장석을 많이 포함한 현무암과 같은 어두운 색 암석을 형성하며 분화 말기의 마그마로부터 형성된 암석은 정장석, 석영의 무색광물 및 Na사장석이 풍부한 화강암과 같은 밝은 색 암석을 형성한다.

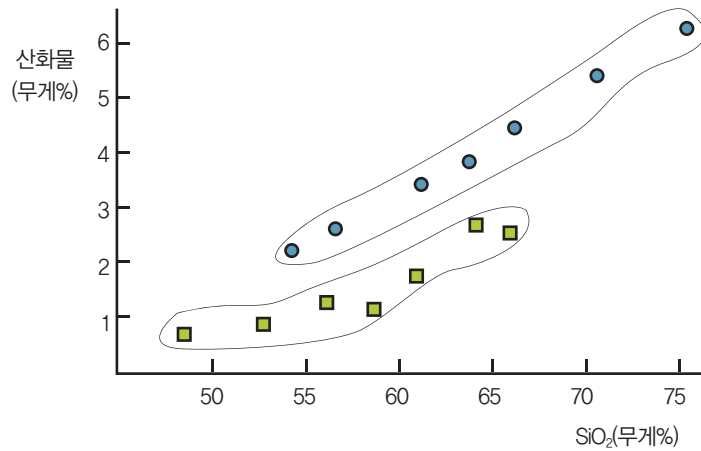
4. 화성암의 화학 성분

화성암의 전체 암석 또는 광물의 화학 성분 분석 자료를 이용하여 마그마가 어디에서 만들어지고, 암석으로 굳기 전에 성분이 어떻게 변화하였는가 등 화성암의 기원을 판단할 수 있다. 화성암의 화학 분석에는 일반적으로 주성분 원소의 분석과 미량원소 분석 등 두 가지 방법이 있다. 이 중 주성분 원소의 성분은 지각 구성의 주된 원소 즉, Si, Al, Fe, Ca, Na, Mg, K 등의 산화물 무게 백분율로 나타낸다.

〈표 II-3〉 화강암 표품의 화학 분석치

산화물	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
무게(%)	77.24	0.20	10.81	1.66	0.27	0.02	0.33	1.48	2.59	4.12	0.06

화성암의 화학 분석 자료는 흔히 그래프의 형태로 나타내는데 그래프 상에서 여러 개의 암석 표품 분석 자료를 점으로 표시함으로써 암석 상호 간의 체계적인 변화 관계를 파악할 수 있다. 〈그림 II-13〉은 주 원소 성분 분석 자료의 고찰을 위하여 흔히 사용되는 성분 변화도(Harker diagram)이다. 이때 화학 분석치가 배열된 무리의 기울기나 절대 값이 완전히 다르면 기원이 다른 마그마로 해석할 수 있다.



〈그림 II-13〉 화성암의 산화물 성분 변화도

탐 구 활 동

! 준비물 ! 그래프 용지, 자, 연필, 색연필, 화산암 화학분석 자료

화산암류의 주 원소 성분 분석을 통해 알아본 마그마 분화 과정

제주도는 신생대 제4기의 화산 활동에 의해 형성된 섬이다. 제주도에 분포하는 화산암류는 대부분 현무암질 암이며 중성암류와 산성암류가 일부 분포한다. 제주도에 화학 조성이 다양한 화산암류가 어떤 과정을 거쳐 만들어졌는지 알아보자.

SiO₂ 성분의 함량 변화는 광물 정출에 따른 마그마의 분화와 관련이 있는 것으로 알려져 있다. SiO₂ 성분과 각 산화물의 함량 변화를 그린 것을 Harker diagram이라 하며, 이것을 통해 마그마의 분화 과정을 설명할 수 있다.

〈표〉 제주도 화산암류의 표품별 성분 함량 (단위 : 무게 %)

성분 \ 표품	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	46.10	46.43	46.79	48.37	50.18	55.64	56.70	56.71	58.18	63.26	66.53	67.24
TiO ₂	3.04	2.62	3.06	2.48	2.12	1.29	1.29	1.28	1.03	0.41	0.41	0.20
Al ₂ O ₃	16.75	14.07	16.86	15.12	15.00	18.49	18.91	18.86	18.92	17.46	16.48	16.64
MgO	5.81	10.94	5.77	6.55	6.39	5.60	1.59	1.57	1.01	0.68	0.51	0.05
FeO [†]	10.82	11.23	10.75	12.23	12.46	6.59	6.56	6.56	5.87	5.27	3.19	2.46
MnO	0.20	0.18	0.21	0.16	0.16	0.23	0.24	0.24	0.24	0.13	0.22	0.13
CaO	8.85	10.62	8.82	9.11	9.24	1.68	5.64	5.58	4.89	2.26	2.35	1.43
Na ₂ O	3.23	2.40	3.71	3.42	3.18	5.32	5.55	5.55	5.92	5.75	5.77	6.15
K ₂ O	2.24	1.25	2.37	1.66	1.68	2.72	2.76	2.78	3.58	4.21	4.26	4.53

FeO[†] : 철 산화물의 총량

위의 분석 자료를 이용하여 SiO_2 성분애 따른 각 산화물의 함량을 그래프에 나타내보자.



결과 및 토의

- 1) 각 표품들을 SiO_2 함량에 따라 규장질, 중성질, 고철질 암류로 구분해 보자.
- 2) SiO_2 성분애 따른 각 산화물의 함량 변화 경향을 말해 보자.

3) SiO_2 성분 범위에 따라 각 산화물들의 함량이 연속적인 경향을 보이는 표품들을 묶어 보자. 몇 개의 묶음으로 분류되는가?

4) 위의 분석 결과를 토대로 제주도 화산암류의 마그마 분화 과정을 토의해 보자.



창의 탐구

1) 암석의 화학 성분 분석을 통한 제주도 화산암류의 분화 과정을 고찰할 수 있는 다른 분석 방법에 대해 알아보자.

2) 제주도에 분포하는 암석의 종류를 살펴보자.(참조 : <http://www.kigam.re.kr/>)



3) 한라산, 산방산, 송악산, 일출봉 등의 성인과 형성 과정을 조사하여 발표해 보자.

5

화성암의 관찰과 분류

화성암은 지하 깊은 곳에서 만들어진 용융 상태의 규산염 물질인 마그마가 지각의 약한 부분을 뚫고 지표로 분출되거나 지하에서 그대로 굳어진 암석을 말한다. 화성암의 분류는 일반적으로 야외의 노두 관찰에서부터 비롯된다. 노두 조사로부터 획득한 암석이나 암체의 구조 등 전반적인 내용은 화성암의 명명뿐만 아니라 암석 성인 연구에 중요한 실마리를 제공한다. 야외 현장에서 채집한 암석 표품들은 실험실에서 편광현미경 관찰이나 전암의 화학 분석을 통해 암석의 조직적 특징, 조암 광물, 그리고 기원과 명명 등 개개의 암석에 대한 많은 정보를 얻게 된다.



야외 노두 조사



표품 관찰



편광 현미경 관찰



전암 분석

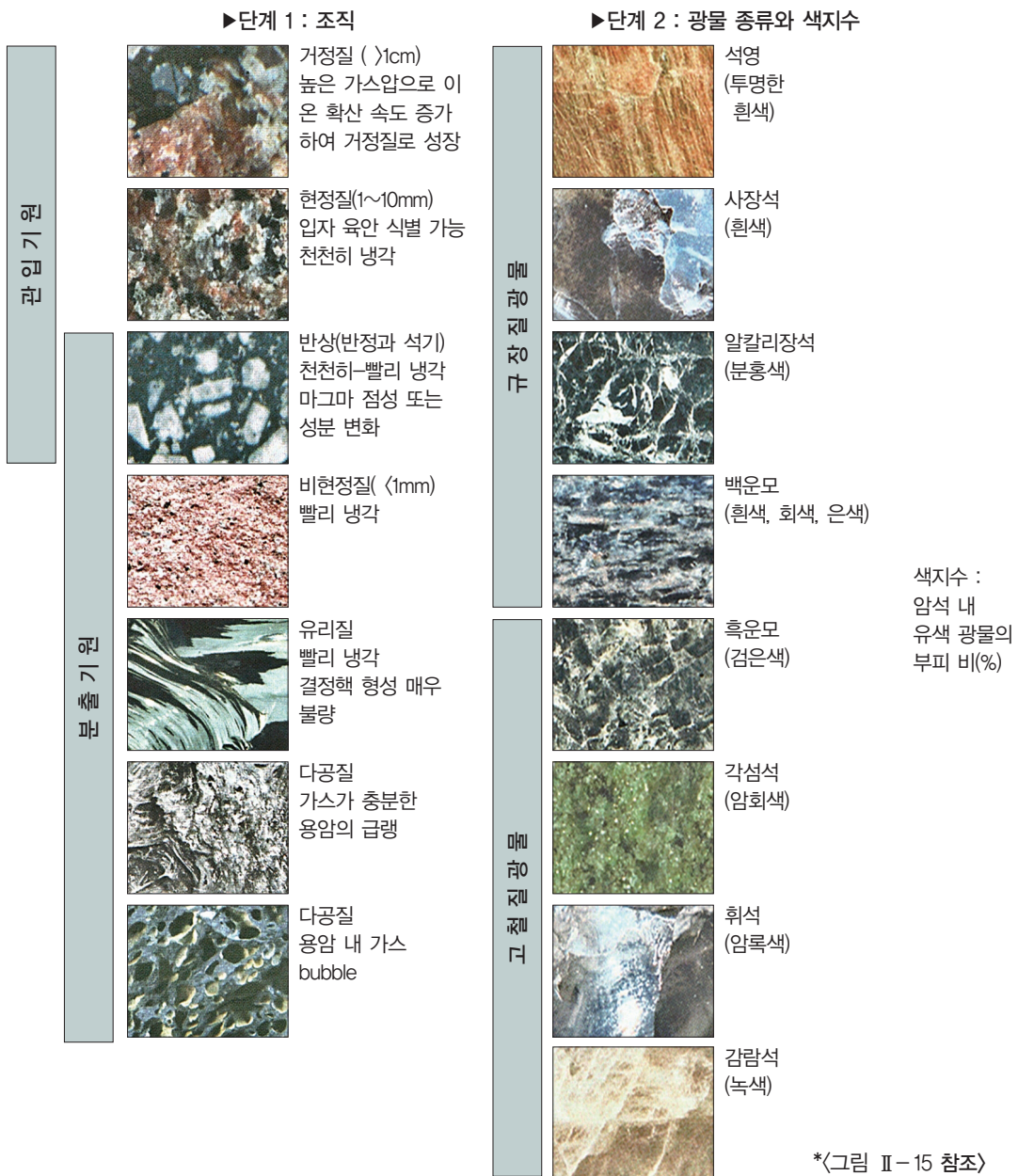
〈그림 II-14〉 화성암의 연구 절차

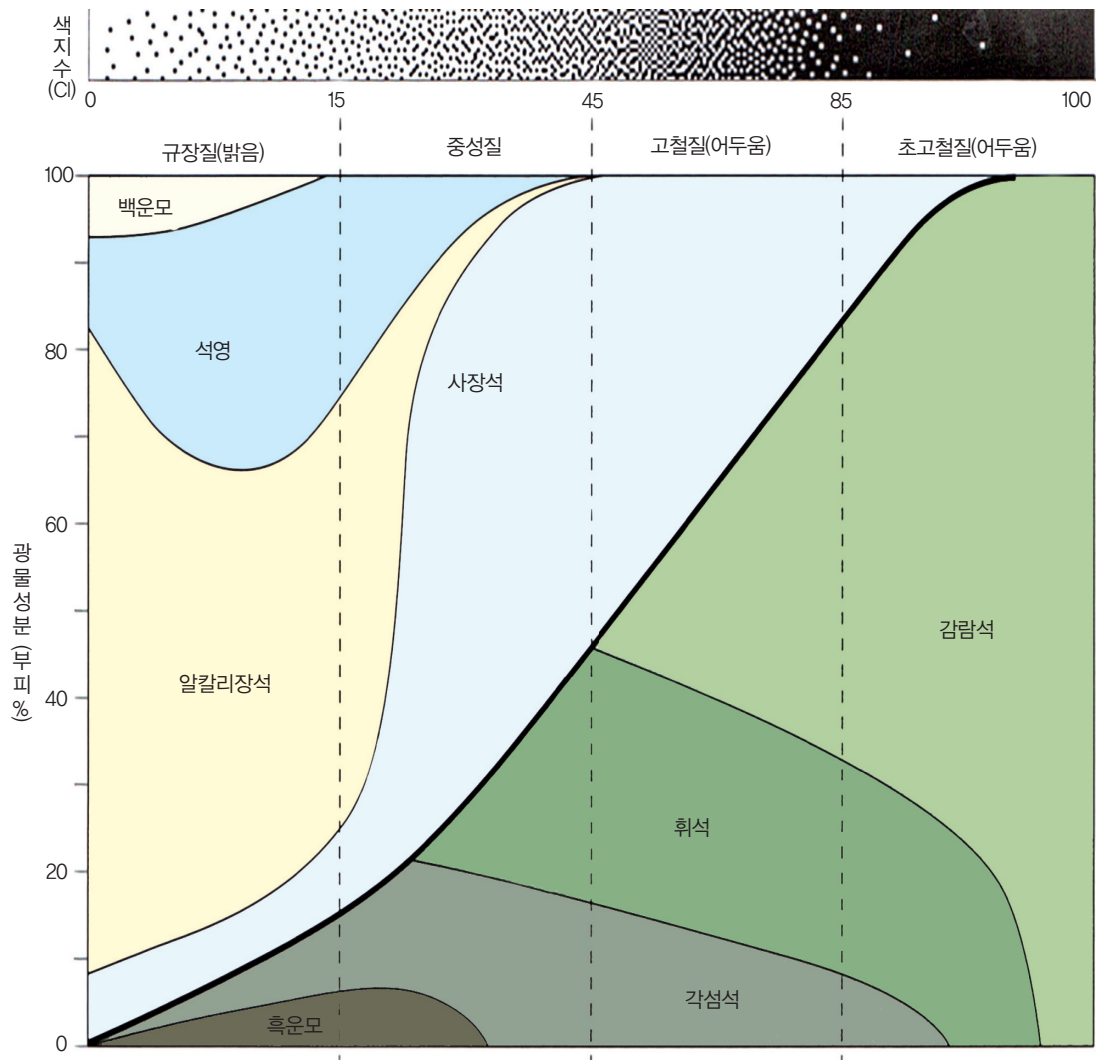
1. 화성암의 육안 분류

화성암의 일부는 조직에 의해서 명명되기도 하지만 대체로 조직과 화학성분 또는 색지수에 의해 분류되어 명명된다. 따라서 화성암을 분류하기 위해서 우리는 암석의 조직이나 색지수 그리고 주요 조암 광물의 종류와 함량 비에 대한 조사를 해야 한다. 화성암의 조직은 암석

을 구성하는 광물 입자의 크기, 형태, 배열 상태를 나타내는 것으로 그 암석의 산출상태 기원을 암시하는 중요한 요소이다. 그리고 조암 광물 중 유·무색 광물의 부피 비에 따라 암석의 색 또는 색 지수가 달라진다. 이 두 요소에 의해 화성암은 다음과 같은 단계를 거쳐 명명할 수 있다.

◆ 화성암의 분류 단계

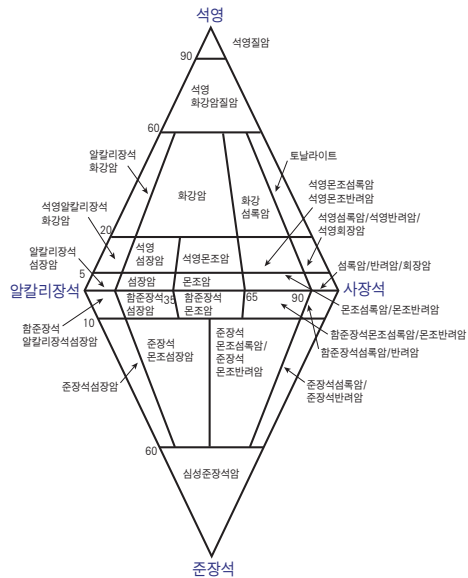




〈그림 II-15〉 화성암의 색지수에 따른 조암광물의 함량(부피)비

2. 심성암의 분류

화성암 중에서 현정질 조직의 심성암에 대한 분류는 〈그림 II-16〉과 같은 다이아몬드형(이 중 삼각형) IUGS((International Union of Geological Sciences) 분류도를 사용한다. 이 분류도는 슈트렉카이젠(Streckeisen)에 의해 제안된 분류 방법으로 석영(또는 준장석), 알칼리장석, 사장석의 세 종류 광물의 함량비로 정해진 암석명에 근거한다. 총 34개의 암석이 분류도의 26개 영역에 표시되며, 세 종류의 광물 함량을 100%로 환산하여 위 또는 아래의 삼각형 도표에 한 지점에 점으로 표시하여 그 위치의 영역에 해당하는 암석명을 결정한다.



탐구활동 (1)

화성암의 육안 분류

이 탐구 활동을 통해 우리는 먼저 주어진 화성암 표본에서 신선한 부분을 찾아 조암 광물의 조직을 관찰함으로써 과거 암석이 형성되기 전 마그마의 냉각 속도나 산출 상태를 이해할 수 있다. 그리고 화성암의 색을 관찰함으로써 암석의 화학 조성이나 광물 성분을 이해하고 이를 토대로 화성암 분류표를 이용하여 암석을 분류할 수 있다. 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 과정을 통해 조사 활동을 실시한다.

2) 주어진 암석 표품에 대해 화성암 분류표를 이용하여 관찰한 암석의 이름을 결정한다.

결과 및 토의

1) 표품을 관찰한 내용을 표에 정리해 보자.

표품 번호	조직	색 색지수	유색 광물의 함량 유색 광물의 종류	무색 광물의 함량 무색 광물의 종류	쇄설물 유무 또는 크기	암석명
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

1) 관찰한 내용을 서로 비교해 보고, 각 암석의 특징을 토의해 보자.

2) 분류표의 기준에 벗어나는 표품이 있는가? 있다면 그 내용을 제시하고 각자가 나름대로 세운 분류 기준을 말해 보자.



창의 탐구

1) 화강암에서 감람석이나 휘석이 관찰되는가? 또한 반력암에서는 석영이나 알칼리장석이 발견되는가? 만약 그렇지 않다면 그 이유를 생각하고 토의해 보자.

2) 제시된 분류표나 색지수 도표를 이용하여 암석을 분류함에 있어서 장점과 문제점을 지적해 보고, 개선점이 있으면 제안해 보자.

모드(mode) 분석에 의한 화성암의 분류

석영과 장석을 주성분으로 하고 현정질의 화성암일 경우 석영, 알칼리 장석, 사장석의 세 광물만의 조성비를 이용하여 분류할 수 있다. 이 탐구 활동에서는 화성암의 모드 분석 자료를 이용하여 일반화된 분류도인 IUGS 삼각형 분류도에서 암석명이 어떻게 결정되는지 알아본다.

모드(mode)란 화성암을 구성하는 광물의 함량을 부피 백분율로 나타낸 것으로, 모드 분석 자료를 이용하여 다음과 같은 과정을 거쳐 화성암을 분류할 수 있다.

- 1) 주어진 화성암 모드분석 자료에서 석영, 알칼리장석, 사장석의 세 광물의 부피를 100%로 하여 세 광물의 부피비를 구한다.
- 2) 위에서 구한 세 광물의 부피(%) 값을 삼각형 분류도에 직선으로 작도한다.
- 3) 삼각형 분류도에 작도한 세 직선이 만나는 점이 위치하는 영역의 암석명으로 암석의 이름을 결정한다.

결과 및 토의

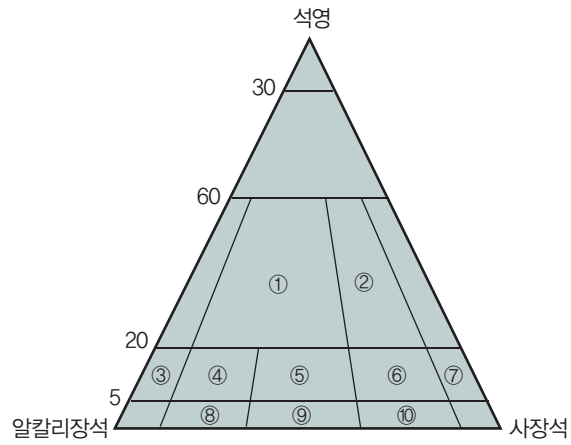
※ 어떤 암석의 모드 분석 값이 다음과 같다.

광물	석영	알칼리장석	사장석	흑운모	각섬석	합계
부피(%)	25	30	30	8	7	100

- 1) 위의 표에서 석영, 알칼리장석, 사장석 등 세 가지 광물의 합이 100%라 하고 전체 부피 비를 계산해 보자.

광물	석영	알칼리장석	사장석	합계
부피(%)				100

- 2) 계산된 세 광물의 부피 백분율 값을 아래의 삼각형 분류도에 작도 해 보자.



심성암의 삼각형 분류도

① 화강암	② 석영화강섬록암	③ 석영알칼리장석화강암	④ 석영섬장암	⑤ 석영몬조나이트
⑥ 석영몬조섬록암	⑦ 석영섬록암	⑧ 섬장암	⑨ 몬조나이트	⑩ 몬조섬록암

3) 이 암석의 이름은 무엇인가?



창의 탐구

이 분류도를 사용하여 화성암을 분류할 때 장점과 문제점을 토의해 보자.

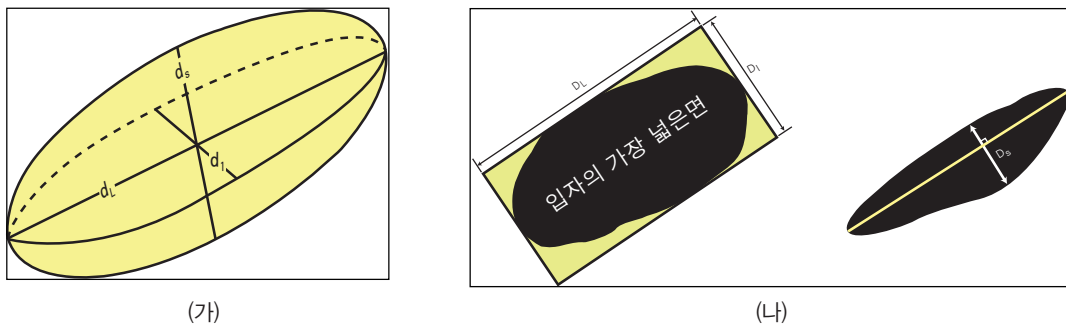
6

퇴적물의 입도와 형태

퇴적물의 입도는 입자성 물질의 기본적인 특성으로 입도에 따라 공극률이나 투수성 등 퇴적물의 여러 가지 성질이 달라진다. 따라서 퇴적물의 기원과 퇴적 과정의 해석에 중요한 정보를 제공한다. 또한 퇴적물 입자의 형태는 주로 원마도와 구형도로 나타내는데 이는 퇴적물의 퇴적 작용이나 퇴적환경을 해석하는 데 도움을 줄 수 있다.

1. 입도

입도(grain size)는 어떻게 측정하는 것이 좋을까? 대부분의 퇴적물 입자는 <그림 II-17>의 (가)와 같이 완전한 구형체가 아닌 장축, 중축, 단축을 지닌 타원체이다. 따라서 퇴적물의 입도를 측정하기 위해서는 <그림 II-17>의 (나)에서와 같이 입자의 가장 넓은 면이 보이도록 놓은 후 입자를 에워싸는 직사각형에서 장축과 중축을 측정한 다음 입자를 90°회전시켜 단축을 측정한다.



<그림 II-17> 퇴적물 입도의 측정(d_L : 장축, d_i : 중축, d_s : 단축)

자갈의 경우 직접 자나 캘리퍼스로 측정하는 것이 좋다. 모래 크기의 경우는 보통 체질 법을 사용하는데 이는 입자의 중경 또는 단면적이 측정된다. 입도 측정의 또 다른 방법은 퇴적물 입자의 침강 속도를 측정하는 방법인데 이는 입자의 침강 속도가 입도의 제곱에 비례한다는 스토크스(stokes) 법칙을 응용한 것으로 점토와 같이 입자의 크기가 매우 작은 경우 사용된다.

퇴적물 입자의 크기는 다음의 식에서와 같이 $\phi(\phi)$ 단위로 나타낸다.

$$\phi = -\log_2 D$$

여기서 D 는 퇴적물 입자의 직경으로 단위는 mm이다. 퇴적물 입자는 크기별로 -1ϕ 이하는 자갈, -1ϕ 에서 4ϕ 는 모래, 4ϕ 에서 8ϕ 는 실트, 8ϕ 이상은 점토로 구분한다. 이러한 자갈, 모래, 실트 성분은 아래의 표와 같이 다시 크기별로 세분된다.



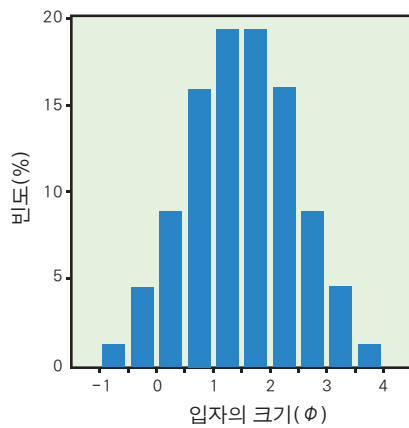
〈그림 II-18〉 체

〈표 II-4〉 Udden-Wentworth 규격 분류에 의한 퇴적물 입자 크기의 분류

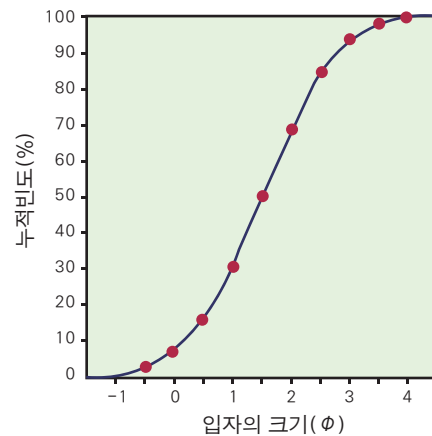
미국표준체 메쉬		mm	$\phi(\phi)$	분류
자갈		4096	-12	왕자갈
		1024	-10	
		256	-8	
		64	-6	큰 자갈
		16	-4	중 자갈
	5	4	-2	
	6	3.36	-1.75	잔 자갈
	7	2.83	-1.5	
	8	2.38	-1.25	
	10	2.00	-1.0	
모래	12	1.68	-0.75	극 조립 모래
	14	1.41	-0.5	
	16	1.19	-0.25	
	18	1.00	0.0	
	20	0.84	0.25	조립 모래
	25	0.71	0.5	
	30	0.59	0.75	
	35	0.50	1.0	
	40	0.42	1.25	중립 모래
	45	0.35	1.5	
	50	0.30	1.75	
	60	0.25	2.0	
	70	0.210	2.25	세립 모래
	80	0.177	2.5	
	100	0.149	2.75	
	120	0.125	3.0	
	140	0.105	3.25	극 세립 모래
	170	0.088	3.5	
	200	0.074	3.75	
	230	0.0625	4.0	

진흙	실트	270	0.053		4.25	조립 실트
		325	0.044		4.5	
			0.037		4.75	
			0.031	1/32	5.0	
			0.0156	1/64	6.0	중립 실트
			0.0078	1/128	7.0	세립 실트
			0.0039	1/256	8.0	극 세립 실트
	점토		0.0020		9.0	점토
			0.00098		10.0	
			0.00049		11.0	
			0.00024		12.0	
			0.00012		13.0	
			0.00006		14.0	

퇴적물 입자의 크기를 분석하고 이들의 분포를 표시하는 방법에는 <그림 II-19, 20>과 같은 히스토그램(막대그래프)과 누적빈도곡선 등이 있다. 히스토그램은 입자 크기의 일정 구간을 밑변으로 하여 면적으로 표시하는 방법으로 퇴적물이 크기별로 어떻게 분포하는지 잘 보여준다. 누적빈도곡선은 입자 크기의 범위에 드는 빈도를 포함해서 그 이하 또는 그 이상에 있는 모든 빈도를 합한 것인데 백분위 수를 직접 읽음으로써 통계 처리에 유용하다.



<그림 II-19> 히스토그램



<그림 II-20> 누적빈도곡선

2. 입자의 형태

퇴적물 입자의 모양과 원마도는 퇴적물 기원지에서 공급된 입자에 가해진 운반 과정의 영향을 알아보는 중요한 척도이다. 원마도란 퇴적물의 입자가 각이 진 정도를 나타낼 때 사용하는 용어이며, 구형도는 퇴적물의 입자가 구에 가까운 정도를 말한다. 이들을 나타내는 방법은 <그림 II-21>과 같은 표에 의거하여 나타내는 방법이 있다.

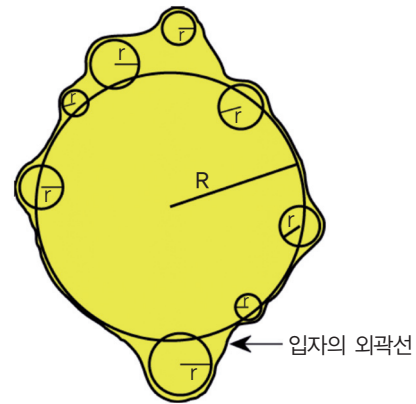
	초원형	원형	아원형	아각형	각형	초각형
내 평면 입자						
내 평면 입자						

〈그림 II-21〉 구형도와 원마도(Pettijohn, 1973)

또한 원마도를 수치로 나타내는 방법은 〈그림 II-22〉와 같이 입자의 단면에 접하는 큰 내접원 R을 그리고 돌출 부분에 접하는 내접원 r들을 그려서 반지름을 측정하고 다음의 식을 이용하여 수치로 나타내는 방법이 있다.

$$\text{원마도} = \frac{\sum r_n}{nR} \quad n: \text{돌출 부분의 개수}$$

계산된 원마도의 값에 따라 입자는 〈표 II-5〉와 같이 여섯 가지의 형태로 구분된다.



〈그림 II-22〉 원마도 측정

〈표 II-5〉 원마도 값에 따른 퇴적물 입자의 형태

초각형(Very angular)	0.12~0.17
각형(Angular)	0.17~0.25
아각형(Sub angular)	0.25~0.35
아원형(Sub rounded)	0.35~0.49
원형(rounded)	0.49~0.70
초원형(Well angular)	0.70~1.0

원마도는 입자의 크기, 물리적인 특성 및 마모되는 기간의 영향을 받는데 보통 동일한 운반 거리를 갖는다고 할 때, 큰 입자는 작은 입자보다 더 양호한 원마도를 나타낸다. 잘 원마된 입

자는 입자가 여러 번의 퇴적, 침식 작용과 운반의 과정을 거치면서 이루어졌거나 또는 원마 작용이 매우 빨리 일어나는 특정 환경에서 마모되었을 것이다. 해변 환경과 풍성의 사구는 잘 원마된 입자들이 생성되고 쌓이는 곳이다. 퇴적물은 상류에서 하류로 운반됨에 따라 이동과정에서 마모 작용에 의해 입자의 크기가 감소하며, 원마도는 증가한다.

3. 입자의 형태와 퇴적 작용

퇴적물 입자의 형태에 의해 퇴적 작용의 특징을 알아볼 수 있는데 예를 들어 입자가 매우 각이 져 있다는 것은 대개 이동거리가 짧았다는 것을 의미한다. 빙퇴석의 입자들은 대부분 각진 형태를 지니는 반면 풍성 기원의 모래는 물에 운반된 모래에 비해 매우 높은 구형도를 지닌다. 또한 하천의 자갈은 바닥을 따라 구르기 때문에 같은 모양의 둥근 자갈이 많지만 해변의 자갈은 파도의 작용에 의해 둥근 자갈이 선택적으로 제거되어 판상 또는 원반형의 자갈이 주로 남게 된다.

탐 구 활동

준비물 | 자갈 표본 30개 정도, 자, 캘리퍼스, 그래프 용지, 입도 분류표, 구형도에 따른 원마도 표

퇴적물의 입도 및 형태 분석

퇴적물의 입도 분석 자료와 원마도나 구형도와 같은 퇴적물의 형태는 그 퇴적 작용과 퇴적 환경을 해석하는 데 기초 자료가 된다. 주변의 하천과 해안에서 채집한 퇴적물 표본(자갈)에 대하여 입도를 분석하여 분류하고 구형도와 원마도를 알아보자.

하천과 해안에서 채집한 퇴적물 입자(자갈) 각 30개의 입도 분석을 위하여 다음과 같은 과정으로 실시한다.

- 1) 퇴적물 입자의 크기를 측정하고, $\phi(\emptyset)$ 값을 계산하여 Udden-Wentworth의 퇴적물 분류표를 이용하여 퇴적물 입자의 명칭을 알아본다.
- 2) 각 표본에 대하여 Pettijohn(1973)의 분류표를 이용하여 구형도와 원마도를 측정한다.
- 3) 표본의 크기와 개수에 대한 히스토그램(막대그래프)과 누적 빈도 곡선을 그려 본다.

결과 및 토의

1) 채집한 퇴적물(자갈) 표본에 대하여 분석한 내용을 다음 표에 기록하자.

① 하천

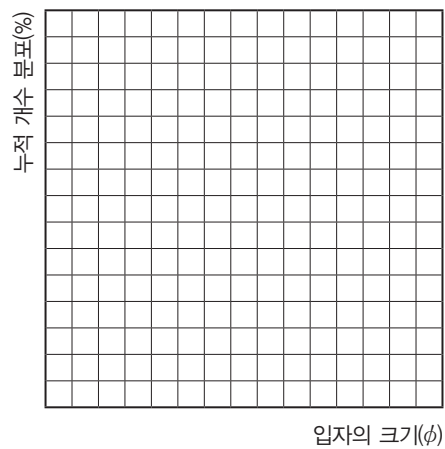
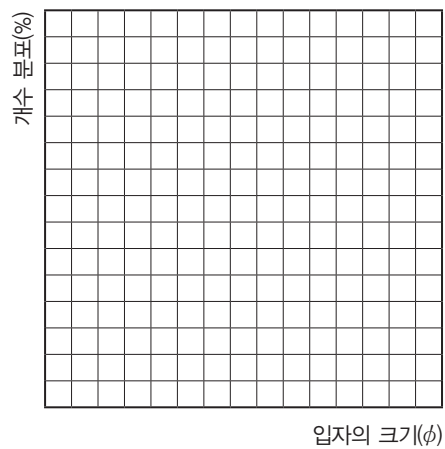
표품 번호	입자의 크기(mm)			ϕ	입자의 명칭	구형도			원마도
	장경	중경	단경			구형	반구형	모난형	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									

② 해안

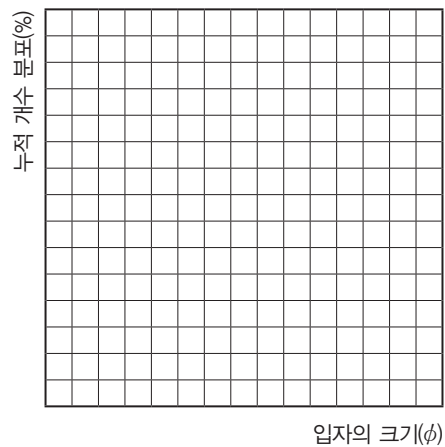
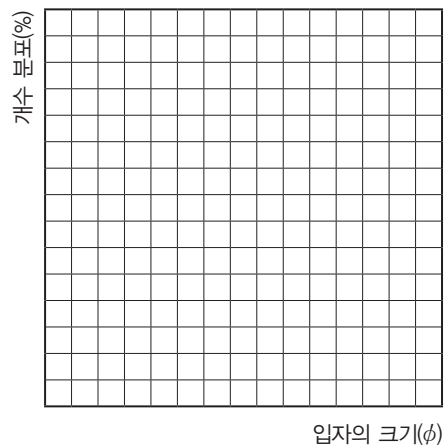
표품 번호	입자의 크기(mm)			ϕ	입자의 명칭	구형도			원마도
	장경	중경	단경			구형	반구형	모난형	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									

2) $\phi(\phi)$ 값에 대한 히스토그램과 누적빈도곡선을 그려보자.

① 하천



② 해안



3) Udden-Wentworth 규격 분류표와 히스토그램에서 나타난 결과를 토대로 하천과 해안의 퇴적물이 크기별로 어떻게 분포하는지 설명해 보자.

4) 하천과 해안에서 채집한 퇴적물들의 입자 형태(구형도와 원마도)에 어떤 차이가 있는지 살펴보고 그 이유를 설명해 보자.

5) 위의 분석 내용을 기준으로 하천과 해안 자갈의 퇴적작용 과정과 환경을 설명해 보자.



창의 탐구

1) 퇴적물 입자의 형태를 제어하는 요인은 어떤 것들이 있을까?

2) 바람에 의해 운반되는 사막의 모래 입자가 물속에서 운반되는 모래 입자보다 일반적으로 구형도가 높다. 그 이유에 대해 생각해 보자.

7

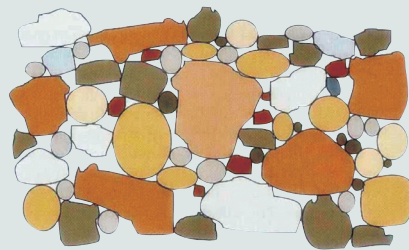
퇴적암의 생성과 분류

퇴적암은 지구 전체 부피의 약 0.03% 정도에 불과하지만 지표에 노출된 암석의 3/4를 차지할 정도로 지구 표면에 광범위하게 분포한다. 또한 퇴적암의 형성 과정은 주로 지표에서 일어나기 때문에 직접 관찰이 가능하고 따라서 이해하기 쉽다.

퇴적암은 지표에 노출된 암석이 끊임없는 풍화 작용과 침식 작용을 받아 암설 또는 수용액으로 되어 원암에서 분리된 물질이나 각종 생물의 유해가 육상 또는 수저에 쌓이거나 침전되어 굳어진 암석이다. 퇴적암의 주요 재료는 대륙 암석의 풍화 생성물이며, 그 외 크고 작은 생물체의 유해, 화산 쇄설물, 그리고 소량이나마 우주진, 운석 물질도 퇴적암의 기원이 된다. 따라서 퇴적암은 암석을 구성하는 물질의 종류나 퇴적물 입자의 크기 등의 특징에 따라 다양하게 구분된다.

◆ 해보기

오른쪽 그림은 쇄설성 퇴적물이 쌓여있는 모습을 나타낸 것이다. 이 퇴적물이 퇴적암이 되기 위해서는 어떤 과정과 작용이 있어야 할지 생각해 보자.



1. 풍화 작용

풍화 작용은 일차적으로 암석을 파괴하는 작용인 물리적 작용과 물질을 분해하는 작용인 화학적 풍화 작용으로 구분된다. 퇴적물이 형성되는 과정에서 물리적 작용의 주된 역할은 퇴적물 입자의 크기를 줄이는 것이다. 화학적 분해 작용은 산화 작용, 용해 작용, 수화 작용, 가수분해, 양이온 교환을 수반하는 콜로이드 형성을 포함한다.

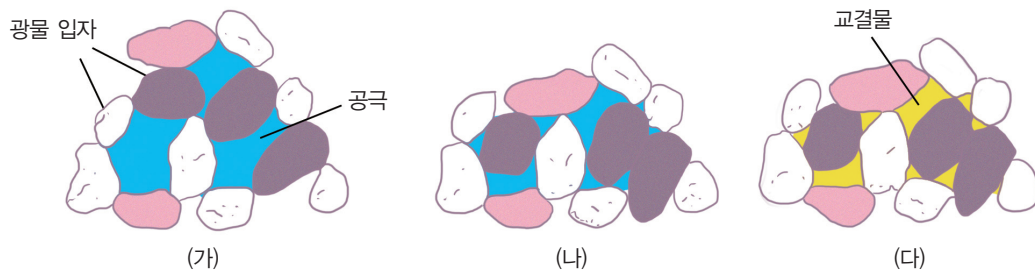
2. 운반 작용

퇴적물의 운반에는 고체물질을 운반하는 기계적 운반 작용과 용해된 물질을 용액 내에서 운반시키는 화학적 운반 작용이 있다. 기계적 운반 작용은 낙하, 미끄러짐, 구름(회전), 도약 이동, 흐름, 부유 이동 등의 방법이 있다. 화학적 운반 작용은 풍화 작용에 의해서 생성된 이온과 분자가 용액으로 된 후 용액의 이동으로 운반되는 것이다. 이 과정에서 지하수의 형태로 이동하면 통과하는 암석과의 반응에 의해 회석 또는 농집되거나 다른 용액과 혼합되어 화학적 침전이 일어난다.

3. 암석화 작용

암석화 작용이란 미 고결 상태의 퇴적물이 퇴적암으로 되는 일련의 과정으로 퇴적물이 퇴적된 후에 받는 모든 물리적, 무기화학적, 생화화적인 변화를 일컫는다. 이 과정에서 퇴적암의 노두나 표층 그리고 박편 상에서 관찰되는 여러 가지 특징을 만들어 낸다. 대부분의 퇴적암은 이러한 암석화 작용의 과정을 거쳐 형성되며, 암석화 작용의 종류에는 퇴적물 입자를 서로 치밀하게 다져주는 다져짐 작용과 퇴적물 입자들을 견고하게 하여 암석이 되도록 결합해 주는 교결 작용의 단계를 거치게 된다. 다져짐 작용은 물리적인 암석화 작용으로 퇴적물이 계속적으로 퇴적됨에 따라 위에 놓인 퇴적물의 무게로 밑에 쌓인 퇴적물 입자의 간격이 치밀하게 다져져서 공극의 크기가 감소하는 현상이다. 퇴적물 내의 공극 속에 있는 물은 규산, 철분, 탄산칼슘 등의 성분을 용해하고 있으므로 이들이 침전하여 퇴적물의 입자 사이를 연결시키는 접착제와 같은 역할을 하게 된다. 이러한 작용이 계속되면 이들이 공극을 채우면서 입자들을 단단히 결합시켜 퇴적암을 형성하는데, 이것을 화학적 암석화 작용인 교결 작용이라고 한다. 예를 들면, 모래 속에 섞여 있는 CaCO_3 성분이 입자 사이의 공극에서 침전되어 모래 입자들을 결합시켜 사암이 된다. SiO_2 도 모래, 점토 및 자갈들을 결합시켜 사암, 이암, 역암이 형성되도록 한다.

〈그림 II-23〉은 암석화 작용의 과정을 나타낸 것이다. (가)에서 광물 입자와 같은 퇴적물



〈그림 II-23〉 암석화 작용의 과정

이 퇴적되면 (나)에서와 같이 상부에서 누르는 무게에 의해 광물 입자들이 치밀하게 재배열되어 공극이 감소하게 된다. 이후 (다)와 같이 지하수 등이 침투하여 공극 내에 교결물이 침전되어 입자들을 서로 묶어 줌으로써 퇴적암이 만들어진다.

이외에도 퇴적암은 용액으로부터 침전되어 결정이 만들어지고 성장하는 결정화 작용에 의해 형성되기도 한다. 이 과정을 거쳐 만들어지는 퇴적암은 교결물이 거의 포함되어 있지 않고 결정 간의 맞물림에 의해 서로 지지된다. 결정조직을 갖는 퇴적암 중에는 사방정계의 아라고나이트가 삼방정계의 방해석으로 변하는 것과 같이 새로운 결정이 성장하여 원래의 조직을 잃어버리는 경우가 있는데 이는 화학적으로 불안정한 상태에서 안정한 상태로 변하는 재결정 작용이다.

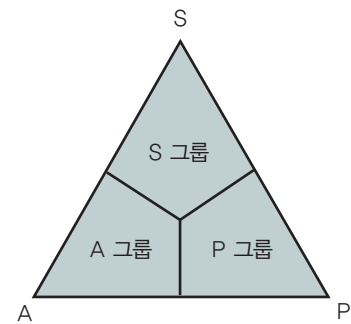
4. 퇴적암의 분류 흐름도

단계1 : 암석의 성분		단계2 : 암석의 조직, 기타 특징		단계3 : 암석명	
쇄 설 성	암편 석영 장석 점토	자갈(≥ 2 mm)	둥근 입자	역암	
			모난 입자	각력암	
		모래($\frac{1}{16} \sim 2$ mm)	대부분 석영 입자	석영사암	사암
			주로 장석	장석사암	
			모래가 실트, 점토와 혼합	그레이와케	
		실트($\frac{1}{265} \sim \frac{1}{16}$ mm)	이토	실트암	이암
		점토($< \frac{1}{265}$ mm)		점토암	세일
생 화 학 적	식물 편 탄화물질	흐린 갈색의 식물편	다공질, 식물편이 잘 떨어져짐	토탄	
		검은색	치밀, 잘부서짐, 다공질	역청탄	
	패각화석 패각 편 미화석 염산반응	자갈 크기의 패각, 패각 편이 조밀하게 교결		석회력석회암	석회 암
		대부분 모래 크기의 패각 편		석회사석회암	
		극 세립의 방해석이나 미화석의 미정질 체		마이크라이트	
		다공질, 약하게 교결된 패각 체		패각암	
		미세입자, 백악질, 밝은 색의 미화석 물질		백악	

화 학 적	방해석 아라고나이트 염산반응	⇒	방해석의 치밀하고 단단한 줄무늬 결정		⇒	트래버틴	석 회 암
		⇒	작은 구슬(2mm) 모양의 구형 입자		⇒	어란상석회암	
	(Ca,Mg)CO ₃	⇒	미정질	분말일 경우 염산반응	⇒	돌로스톤	
	SiO ₂	⇒	미정질, 패각상의 균열	거친 유리	⇒	처트	
	NaCl	⇒	무기화학적 특성의 결정 형성	짠맛	⇒	돌소금(암염)	
	CaSO ₄ · 2H ₂ O	⇒	무기화학적 특성의 결정 형성	손톱으로 긁힘	⇒	석고	
	적철석, 갈철석	⇒	비정질 또는 미정질	암색, 때로 갈색, 적회색	⇒	철광석	

5. 퇴적암의 분류도(ASP 분류)

퇴적암은 퇴적물이 물이나 공기 또는 얼음에 의해 운반되어 쌓이고 굳어져서 이루어진다. 따라서 퇴적물은 퇴적암의 형태를 결정짓는 중요한 요소이다. 퇴적물의 종류는 쇄설성이나 육지 기원 물질의 규산염 파편(S), 무기물의 화학적 침전이나 동·식물에 의한 생화학적 침전작용으로 형성된 화학적·생화학적 침전물(P), 그리고 이전에 형성된 화학적 또는 생화학적 침전물의 파편인 알로캠(A)의 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 이들은 퇴적암 내에서 다양한 비율로 나타나는데, 레이몬드(Raymond)는 암석을 결정짓는 우세한 물질의 종류에 따라 그림과 같이 퇴적암을 크게 세 가지 그룹으로 분류하였다.



〈그림 II-24〉 퇴적암의 ASP 분류도

〈표 II-6〉 ASP 분류에 의한 퇴적암의 종류와 특징

그룹	종류	특징
S그룹	규질쇄설성 역암, 각력암, 다이어믹타이트	직경 2 mm 이상 25%, 세립의 기질
	사암	기질의 함량에 따라 아레나이트와 와케로 구분
	이질암	가장 풍부, 엽층리 발달과 이토의 함량에 따라 구분
P그룹	탄산염암	석회암이나 돌로스톤이 주를 이룸
	기타 침전암	성분에 따라 암염, 처트, 함철암, 망간암 등
A그룹	쇄설성 석회암, 돌로마이트 및 처트	주로 알로캠으로 이루어짐

퇴적암의 분류

퇴적암은 지표에서 다양하고 풍부하게 산출된다. 따라서 퇴적암의 분류 체계도 다양한 방법이 제시되고 있다. 이 단원에서는 간단한 도구나 화학 약품을 이용하거나 감각기관을 통해 퇴적암을 관찰하여 분류하는 방법에 대해 알아보고자 한다. 또한 암석의 모드 분석 자료를 적용하여 분류하는 일반화된 퇴적암의 분류 도표에 대해 알아봄으로써 퇴적암의 종류와 그 암석을 구성하는 퇴적물의 기원과 퇴적 환경을 이해하게 될 것이다.

퇴적암은 쇄설물질의 암석화 작용이나 용액의 침전, 그리고 식물편의 고화에 의해서 형성된다. 따라서 퇴적암을 분류하기 위해서는 먼저 퇴적암을 구성하는 퇴적물의 성분을 관찰하여 그 암석의 기원을 밝혀야 한다. 그 외에 퇴적암 표면에서 관찰할 수 있는 각종 조직과 성분 등 구별되는 특징을 기준으로 암석을 분류할 수 있다.

1) 방법 및 과정

주어진 퇴적암 표품에 대해 감각 기관과 각종 기구를 활용하여 관찰하고 그 내용을 기록한다.

- ① 관찰되는 조직이나 구조적 특징을 스케치 한다.
- ② 퇴적물의 성분을 관찰하여 구분하고 그렇게 판단한 근거를 기록한다.
- ③ 암석의 조직이나 여러 가지 물리적, 화학적으로 구별되는 특징을 살펴본다.
- ④ 주어진 암석 표품에 대해 분류표를 이용하여 관찰한 암석의 이름을 결정한다.

2) 탐구 가이드

퇴적암 표품을 관찰하고 분류하기 위해서는 다음과 같은 내용을 참고하여 실시한다.

- ① 표품의 퇴적물이 쇄설성인지 비쇄설성인지를 판단한다. 대부분의 비쇄설성 암석은 처트 외에는 단단하지 않으며, 석회질이 많으므로 염산과의 반응을 확인한다.
- ② 표품이 쇄설성 암석이면 입자의 크기를 측정해야 한다. 사암인 경우 석영, 장석, 암편의 상대적 비율을 알아보아야 하며, 역암인 경우 자갈의 원마도를 판단해야 한다.
- ③ 표품이 비쇄설성이면 주요 광물 성분을 조사한다. 석회질인 경우는 염산과의 반응으로, 무기질의 처트나 석고의 경우는 굳기로, 암염의 경우는 맛으로 판단할 수 있다.

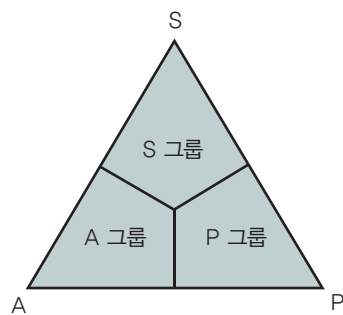
1) 제시된 퇴적암 표품을 관찰하여 밝혀진 내용을 표에 정리해 보자.

퇴적암 WORKSHEET

[illegible]

2) 다음에 제시된 퇴적암 표품들의 모드 분석치를 ASP 분류도에 나타내보자.

표품번호 성분	1	2	3	4	5
규산염 광물	85	65	—	—	—
점토	15	35	10	—	—
암편	—	—	—	—	5
탄산염 물질	—	—	90	20	—
암염	—	—	—	—	95
알로캠	—	—	—	80	—



2) 각 표품이 속한 그룹명을 알아보고, 그 암석의 생성 환경에 대해 토의해 보자.



창 의 탐 구

지표에서 퇴적암이 형성되는 과정에서 생물권이 어떤 역할을 하는지 토의해 보자.

8

퇴적 환경

지표면은 퇴적물이 만들어지고 쌓여서 퇴적암이 형성되는 퇴적 환경이다. 여기서 우리는 퇴적물이 쌓이는 퇴적 과정을 볼 수 있고 퇴적의 최종 산물을 연구할 수 있으며 이로부터 과거 지질시대의 퇴적 환경을 규명할 수도 있다. 대표적인 퇴적 환경으로 하천, 사막, 삼각주 등과 같은 지형이 있으며 해저에서는 형태에 따라 대륙붕, 해양저 선상지, 심해저 평원 등이 있다.

1. 퇴적 환경 규명 방법

1) 퇴적암의 구조와 조직

조직이란 퇴적암을 구성하는 입자의 크기나 형태, 배열 상태를 나타내는 것이며, 구조는 조직보다 더 거시적인 것으로 주로 야외 노두에서 인지되어 퇴적환경을 밝히는 데 이용된다. 퇴적 환경을 규명하기 위하여 퇴적암의 조직에서는 입도, 원마도, 구형도, 분급도를 주로 분석하여 해석한다. 일반적으로 근원지에서 멀어질수록 퇴적물의 분급도, 원마도, 성분상의 동질성은 증가하고, 입자의 크기나 퇴적 환경의 에너지는 감소한다. 퇴적암에 나타나는 구조는 유수의 침식이나 퇴적에 의한 구조와 퇴적물이 쌓인 후 유수의 작용과는 무관하게 형성된 퇴적 후 구조로 나눌 수 있다. 침식 구조는 퇴적물이 집적된 후 더 강한 수류가 작용함으로써 침식된 후 풍화에 대한 내성이 더 강한 퇴적물로 피복되어 보존되며 지층의 상하 판단, 고수류의 방향 및 고지리를 추정하는 데 중요하다. 퇴적 구조에는 퇴적물 입자나 층리의 발달 형태에 따라 평행 층리, 점이 층리, 사층리 그리고 파도 모양의 퇴적 구조인 연흔 등이 있는데 이들은 퇴적 장소에서 물이나 공기의 이동 방향이나 수심을 알려준다.

2) 퇴적암의 종류

어떤 퇴적암은 그 암석이 생성된 근원지에 대한 정보와 퇴적환경에 대한 단서를 제공한다. 역암 층이 발달되어 있다면, 과거 그 지역은 선상지나 하천, 육지 근처의 얕은 해안이었다고 판단할 수 있으며 처트가 발견되면 심해저 환경, 응회암이 발견되면 화산지대임을 암시한다. 사막에서 형성된 사암층의 퇴적물은 구성 입자의 크기가 0.2~2 mm정도로 구형도가 높고 표

면에 굽힌 흔적이 발달한다. 기후를 알려주는 퇴적암으로는 열대 건조 기후를 암시하는 적색 층이나 암염, 열대기후와 얇은 바다였음을 알려주는 석회암, 그리고 빙하지대에서 발견되는 빙퇴석 등이 있다.

3) 화석

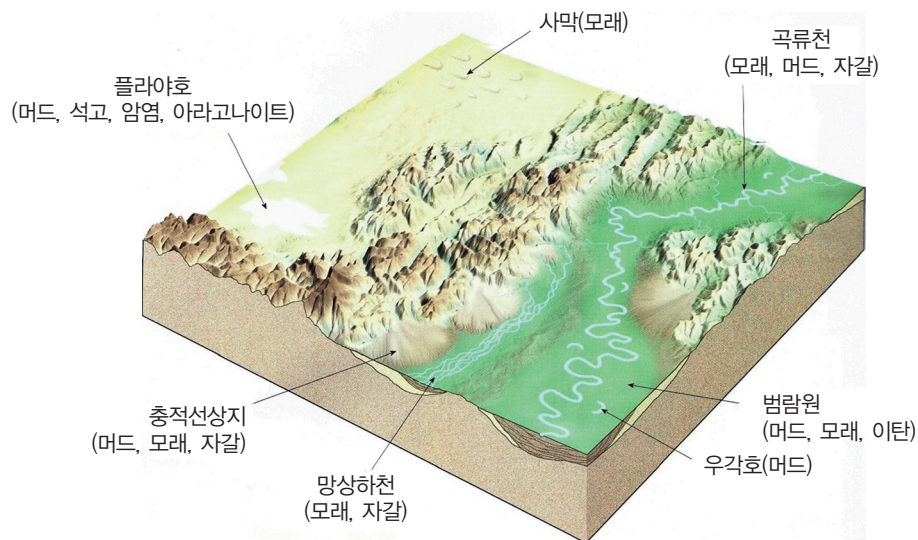
바다 생물의 화석을 많이 포함한 셰일, 석회암 등은 대륙붕과 같은 천해성 환경에서 만들어진 것이다. 민물에서 살던 동식물 화석이 포함되어 있으면 육지에서 만들어진 지층임을 알 수 있다. 석탄은 식물이 물속에 퇴적하여 매몰되어 높은 열과 압력을 받아 만들어지는데 석탄층이 나타나는 곳은 과거 호소나 하천이었던 지역이다. 산호류는 열대 지방의 바다와 같이 수온이 높은 곳에서 사는 생물이다. 산호류 화석이 발견되면, 퇴적 당시에는 기후가 온난한 지역의 바다였음을 알 수 있다.

2. 퇴적 환경의 종류

현생의 퇴적 환경의 종류는 많은 세부 환경으로 나누어질 수 있지만 전통적으로 육성 퇴적 환경, 연안 퇴적 환경 그리고 해양 퇴적 환경으로 구별된다.

1) 육성 퇴적 환경

육성 퇴적 환경은 고조시의 해수면 높이인 고조면 위의 환경으로서 해수의 영향을 받지 않는 곳이며 일반적인 환경으로 크게 하성, 사막, 빙하 환경으로 나눌 수 있다.



〈그림 II-25〉 육성 퇴적 환경

하성 환경은 그 형태가 다양하며, 기후, 근원지의 지질, 지형, 경사, 퇴적물의 양 등이 하천 환경의 전반적인 특성을 좌우한다. 하천에서 쌓인 퇴적물은 하천의 형태, 퇴적물을 운반하는데 필요한 에너지, 그리고 운반할 퇴적물의 성격에 따라 여러 장소에서 다르게 나타난다. 특히 규모가 크고 유속이 느린 하천은 하천 유역을 가로지르는 규칙적인 전후 운동에 의해 굽고 작은 입자들의 분급이 양호한 층을 퇴적시킨다. 실트와 점토 크기의 입자는 범람 기간 동안 하천 유역의 바닥에 쌓이며, 유기 퇴적물은 더 이상 물이 흐르지 않아 하도의 역할이 끝나는 부분에 퇴적된다. 한편 하천의 상류에서는 경사면이 상대적으로 완만해지면서 유속이 느려져 부채꼴 모양의 퇴적물이 쌓이는데 여기에는 퇴적물의 입자가 굽고 분급이 불량한 자갈층에서부터 분급이 양호한 사층리가 발달된 모래층까지 포함된다.

사막 환경은 건조기후로 인해 식물의 분포가 적어서 수분의 증발률이 높고 간헐적으로 내리는 비에도 침식, 운반되는 퇴적물의 양이 많은 환경이다. 사막은 주로 바람에 의해 퇴적물의 침식, 운반이 일어나는데 운반된 퇴적물의 크기는 다른 침식 수단에 의해 이동된 퇴적물보다 작은 경향이 있으며, 분급이 양호하고 사층리가 발달한다. 대표적인 지형으로는 풍성 사구와 플라야 호수 등이 있다.

빙하 환경은 오랜 기간 동안 쌓인 눈이 중력에 의해 다져지고 재결정 작용을 받아 형성된 빙하가 계곡이나 경사면을 따라 흘러내리며 퇴적물을 축적하는 주변 환경을 의미한다. 빙하에 의해 침식되고 운반된 퇴적물들은 빙하가 녹으면서 빙하의 바닥 또는 빙하의 주변부에 퇴적된다. 퇴적된 암설은 흔히 점토 크기에서 거력의 크기 범위로 다양하며, 분급이나 층의 형성이 양호하지 못하다.

2) 연안 퇴적 환경

연안 환경은 해수와 담수가 상호작용하는 하천 삼각주나 사주, 석호와 같은 여러 가지 형태의 지형이 포함되며 이들 환경에서 에너지원은 바람, 파도, 해류 등이다.

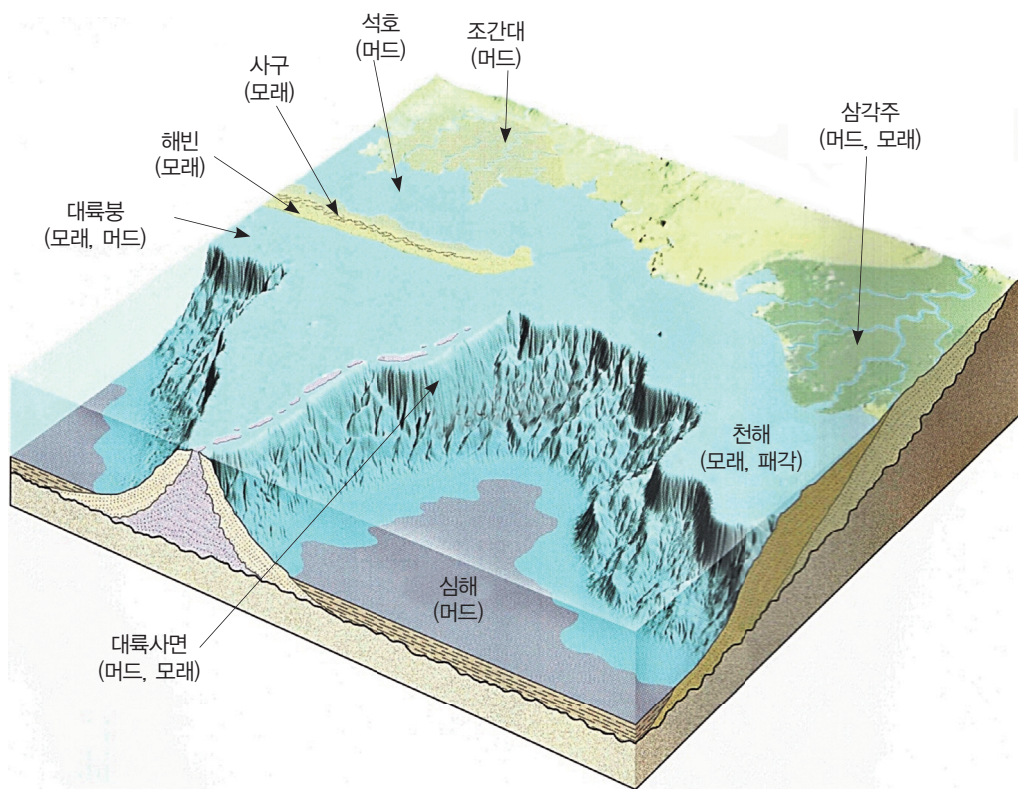
삼각주 환경은 하천이 해양으로 들어오는 분지에 유속이 느려지면서 운반 능력이 감소하여 퇴적작용이 일어나는 곳으로 불규칙하거나 호상, 렌즈상 내지 판상의 퇴적체이다. 이곳의 퇴적층은 대체로 상향 조립화 현상을 보이며, 해성 무척추 동물, 뿌리, 잎 등의 식물화석이 산출된다.

만조 때의 해안선과 간조 때의 해안선 사이의 부분인 조간대 환경에서는 사암이나 이암 층에서 청어뼈형 사층리, 건열 등의 퇴적 구조가 발달한다. 그리고 해변이나 사주 환경에서는 분급이 양호하고, 사층리가 발달하는 석영질 사암이 형성된다.

3) 해양 퇴적 환경

해양 퇴적 환경은 연안면에서 연속적으로 이어지는 대륙붕을 비롯하여 대륙사면-대륙대, 심

해저를 포함한다. 대륙붕은 대규모 삼각주 외부 대륙붕에서 가는 사주 해령을 가진 대륙붕, 그리고 빙하에 의한 대륙붕 등 여러 가지 형태가 있다. 대륙붕에서 퇴적물의 특성은 연안 부근 세립질에서 외부 연변의 조립질까지 다양하다. 대륙 사면은 대륙붕의 끝에서 기저부의 경사가 완만한 지대인 대륙대까지 경사가 큰 부분을 말하며, 대륙대는 대륙 사면과 해구 또는 심해저 평원 사이의 넓고 완만한 경사의 전이지대이다. 대륙사면 퇴적 환경에서는 저탁류나 암설류에 의해 퇴적이 일어나며, 대륙대에서는 해저 선상지가 발달하는데 이곳의 단면을 살펴보면 엽층리가 발달하는 이질암 또는 석회질암, 점이 층리가 발달하는 저탁암과 일부 사태 퇴적 작용으로 형성된 다이어믹타이트(diamictite)를 포함한다. 심해저 퇴적 환경에서는 퇴적물이 대체로 균일하지 않고 다양성 퇴적물로 구성되어 있는데 큰 해류의 활동이 약한 곳에서 퇴적되는 외양성 퇴적물은 주로 미세 생물의 유기물 잔해로 구성되어 있고 대륙주변부와 일부 해양에서는 중력에 의해 운반된 쇄설성 기원 퇴적물이 나타난다.



〈그림 II-26〉 연안 및 해양 퇴적 환경

퇴적 환경의 규명

퇴적물이 쌓여서 형성된 지층은 퇴적된 당시의 퇴적 환경에 따라, 독특한 구성 물질과 구조를 나타낸다. 따라서 어떤 지층을 조사하여 나타난 조직이나 구조, 암석의 종류 그리고 지층 내에 포함된 화석을 조사하면 그 지층이 만들어질 당시의 퇴적 환경을 밝혀낼 수 있다.

어떤 지역의 지질 조사 결과가 다음과 같았다. 암석 기재 내용을 토대로 이 지역의 고 환경에 대해 설명해 보자.

지층 단면 모습	암석 기재 내용	고 환경
	• 석회암 • 해양기원의 조개화석 • 두 방향의 사층리 • 진동 연흔	
	• 회색의 셰일 • 유수 연흔 • 식물 화석 파편 • 조개 화석	
	• 적색-회색의 셰일 • 우흔 • 뿌리 화석 • 건열	
	• 회색의 사질셰일 • 다량의 석고 포함	

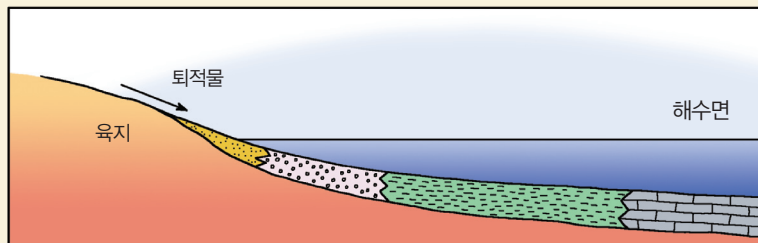
결과 및 토의

- 1) 암석 기재 내용에서 고 기후를 지시하는 내용은 어떤 것이 있는가?
- 2) 지층이 형성되는 동안 이 지역에서 나타난 고 기후 및 고 환경의 변화 과정을 설명해 보자.

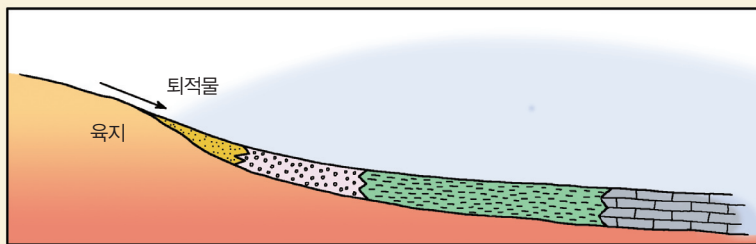


창의 탐구

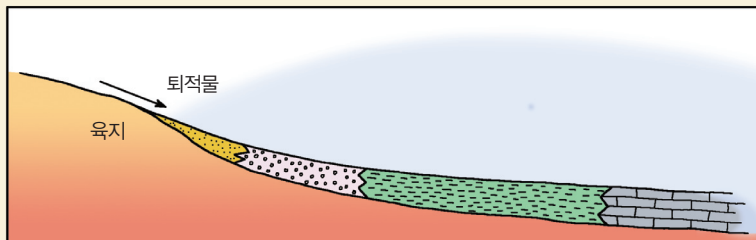
아래 그림과 같이 연안 퇴적물이 쌓여 있는 지역에서 유입되는 퇴적물은 동일하다고 가정하고 미래에 해침이 일어나는 경우와 해퇴가 일어났을 경우에 현재의 퇴적층 위에 새로운 층이 쌓이는 모습을 각각 그려보자.



• 해침



• 해퇴



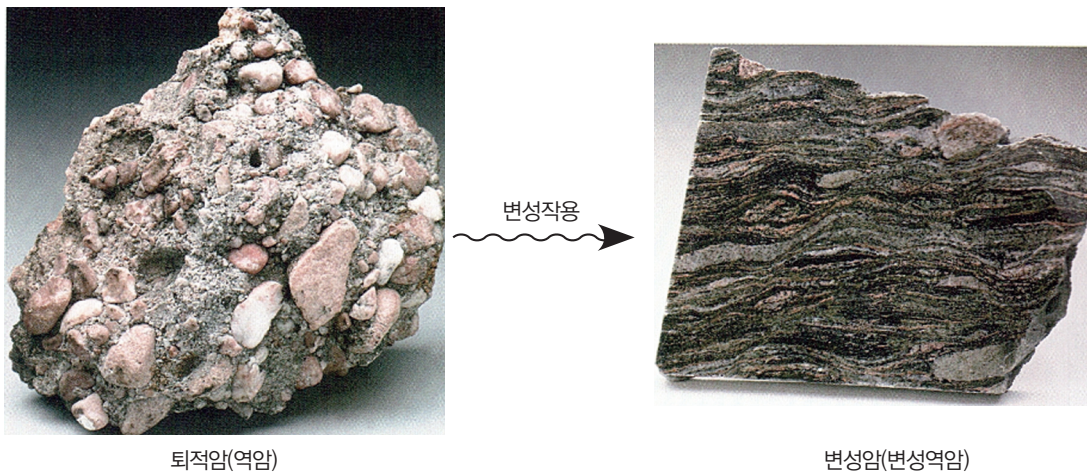
9

변성작용

기존의 암석이 생성 당시의 조건과 다른 환경에 놓이게 되면 이에 상응하여 고체 상태를 유지하면서 광물학적 또는 조직적 변화가 일어나게 된다. 예를 들어 퇴적암과 같이 지표 부근의 환경에서 생성된 암석이 지하 깊은 곳에 매몰되면 온도와 압력이 증가하여 구성 광물이 불안정해지면서 상호 반응이 일어나 변화된 환경에 안정된 광물과 새로운 조직이 만들어진다. 이와 같은 현상을 변성작용(metamorphism)이라고 하며 지표와 같은 환경에서 일어나는 변질(alteration)과 구분된다.

변성작용을 일으키는 요인은 온도, 압력 및 유체를 포함하는 화학 성분 등이 있고 이들이 단독 또는 복합적으로 작용한다. 변성작용에 의한 암석의 변형과 이에 따른 새로운 조직의 생성에 관해 설명할 때는 압력(pressure)이라는 용어 대신 작용하는 힘의 방향성을 포함하는 응력(stress)이라는 용어가 사용된다. 많은 변성암에 나타나는 조직은 한 방향으로 보다 뚜렷하게 작용하는 차등 응력에 의해 만들어진다.

변성작용에 의한 암석의 변화는 크게 역학적 변형과 화학적 재결정 작용으로 구분할 수 있다. 역학적 변형 작용에 의해서 암석에 마모, 파쇄 및 엽리의 발달 등이 일어난다. <그림 II-27>은 역암이 변성암으로 재구성되는 역학적 변형의 예를 보여주고 있다. 화학적 재결정은



<그림 II-27> 역암의 역학적 변형

온도 또는 유체에 의해 공급되는 새로운 화학 성분으로 광물의 성분 변화가 일어나거나 새로운 광물이 생성되는 작용이다. 각종 변성작용은 이러한 두 가지 작용의 강약 정도에 따라 나뉜다.

1. 변성작용의 유형

변성작용에는 넓은 범위에 걸쳐 광역적으로 일어나는 유형과 좁은 범위에서 국부적으로 일어나는 경우로 구분할 수 있다. 이들은 주된 변성 요인인 온도, 압력, 화학 성분 등에 따라 세분되며 각각 서로 다른 특징을 가진다.

1) 광역적인 것

광역적으로 일어나는 변성작용에는 조산대 변성작용, 해양저 변성작용, 매몰 변성작용이 있다.

조산대 변성작용(orogenic metamorphism)은 조산 운동과 같은 큰 지각 변동이 일어나는 조산대 하부에서 높은 열과 압력의 작용에 의해 일어나는 것으로 변성 구조 및 광물이 잘 나타난다. 조산대 변성작용에 의해 암석의 재결정과 변형 작용이 조산대에서 광역적으로 일어나기 때문에 이를 광역 변성작용이라고 한다.



〈그림 II-28〉 광역 변성암에서 나타나는 광물 입자의 방향성

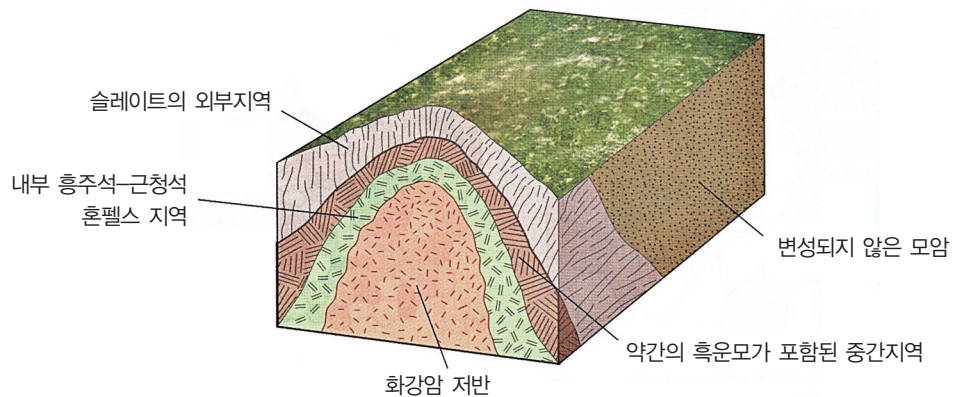
해양저 변성작용(ocean-floor metamorphism)은 중앙 해령의 해저 열곡 부근에서 해저 확장에 의한 파쇄 틈을 따라 해수가 침투하고 지각 하부로부터 공급되는 열과 해수의 화학성분과 광물이 반응하여 발생하는 변성작용이다.

매몰 변성작용(burial metamorphism)은 마그마의 관입이나 조산운동 등과 같이 심한 지각변동을 동반하지 않고 지층이나 암석의 단순한 매몰에 의하여 생기는 변성작용이다. 온도·압력의 상승효과가 크지 않고 변형작용도 없기 때문에 암석의 재구성은 완전하지 않으며 원래의 조직이나 광물이 남아 있는 경우가 많다.

2) 지역적인 것

좁은 지역(통상 3 km 미만)에서 국부적으로 일어나는 변성작용에는 접촉 변성작용, 동력 변성작용, 충격 변성작용이 있다.

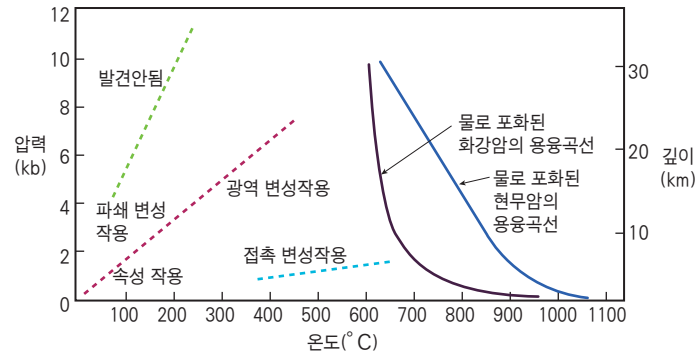
접촉 변성작용(contact metamorphism)은 지각을 관입하는 마그마 주변에서 일어난다. 마그마가 관입하면 그 열로 인해 주위의 암석 온도가 올라가서 기존의 조암 광물 사이에 반응이 일어나고, 그 결과 고온에서 안정한 광물의 조합을 일으킨다. 이와 같이 접촉 변성작용 과정에서는 화학적 재결정 작용을 수반하지만, 마그마 주변의 응력이 균질하므로 역학적 변형 작용은 미약하거나 일어나지 않는다.



〈그림 II-29〉 관입에 의한 변성대(모암: 세일)(원본: 접촉 변성대에서의 광물 포함)

파쇄 또는 동력 변성작용(cataclastic or dynamic metamorphism)은 지표 가까이에 있는 암석이 응력에 의해 파쇄되면서 일어나는 변성작용으로 단층이 지나가는 지역이나 연성 전단대에 흔히 발생한다. 동력 변성작용에 의해 생성되는 변성암에서는 안구상 구조나 압쇄 구조 등이 나타난다.

충격 변성작용(impact metamorphism)은 운석이 낙하하여 충돌할 때 생기는 국소적인 초고압 환경에서 발생하는 변성작용이다.

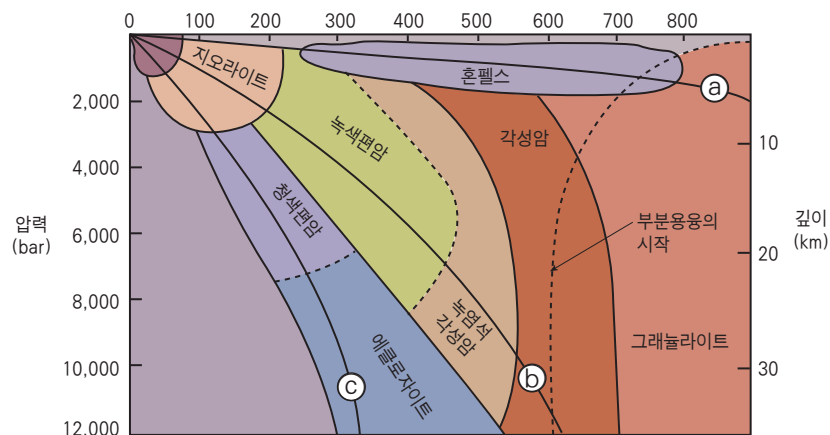


〈그림 II-30〉 변성작용의 물리적 환경조건

〈그림 II-30〉은 각 변성작용의 물리적 환경 조건을 나타낸 것이다.

2. 변성상

변성작용 과정에서 물이나 이산화탄소 등의 휘발성 물질들의 출입은 활발하지만 규산염 성분과 같은 암석의 주성분은 그대로 유지된다. 따라서 변성작용을 받는 동안 일어나는 변화는 암석 전체의 화학 성분의 변화가 아니라 광물 조합의 변화이다. 이처럼 변성암은 변성작용의 과정에서 받은 온도와 응력의 규모에 의해 광물 조합이 결정된다. 〈그림 II-31〉에서 녹색 편암, 각섬암, 그레놀라이트의 변성상을 갖는 것은 일반적인 지온 구배에 해당하며, 청색편암상이나 에클로자이트 상은 고압의 상태를 나타낸다. 혼펠스와 같은 저압고온상은 지표 근처에서 화성암 관입체 부근에서 생성된 것으로 볼 수 있다.



변성작용의 영역, ㉠ 접촉 변성작용의 영역 ㉡ 서서히 침강하는 지역 ㉢ 섭입대

〈그림 II-31〉 변성상

변성작용

변성작용은 지하심부에서 오랜 시간을 통하여 일어나기 때문에 우리 눈으로 그 과정을 직접 관찰할 수 없다. 이 활동에서는 변성작용 결과 형성된 변성암의 관찰을 통해서 변성작용의 종류와 변성작용에 의해 만들어진 조직이나, 구조, 광물 조성 등의 특징을 살펴보자.

변성작용 과정에서 암석은 변성 당시의 환경을 반영하는 특징적인 모습을 갖는다. 따라서 변성암에 나타나는 조직이나 구조는 그 암석이 겪은 변성작용의 종류를 알려준다.

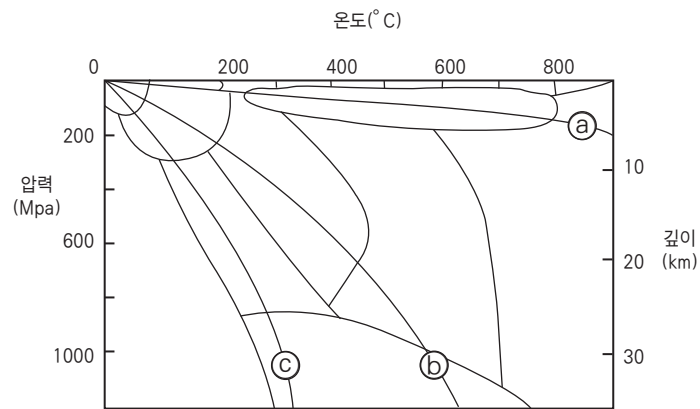
결과 및 토의

- 1) 주어진 변성암 표본의 신선한 면의 모습을 스케치하고 암석을 관찰한 여러 가지 특징을 표에 기록하여 변성작용의 종류를 알아보자.

스케치한 표본 표면 모습			
암석 명			
구별되는 광물 성분			
엽리 유무			
조직적, 구조적 특징			
변성작용			

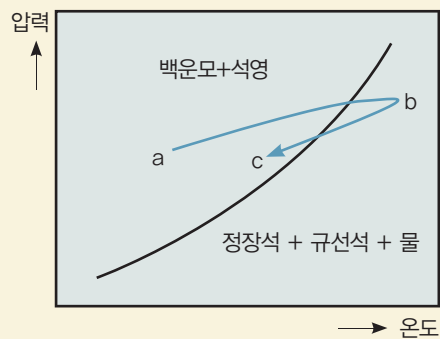
2) 위의 세 가지 변성작용이 일어나는 지구 내부의 환경을 각각 설명해 보자.

3) 변성상은 특정한 변성 조건을 지시하는 광물 조합에 의해 특징지어지는 변성암 집합체로, 변성 온도와 압력을 나타낸다. 아래 그림은 온도와 압력에 따른 변성상의 영역과 지하 증온 곡선을 나타낸 것이다. 지하 증온 곡선 ㉠, ㉢, ㉤의 온도 · 압력 조건과 이에 해당하는 지질학적 환경을 설명해 보자.



창의 탐구

아래 그림과 같이 백운모를 포함한 퇴적암이 변성작용을 받는 경우 온도가 상승하는 과정(경로 a→b)에서는 변성작용이 잘 일어나지만 온도가 하강하는 과정(b→c)은 잘 일어나지 않는다. 그 이유를 설명해 보자.



10

변성암의 분류

기존의 암석이 온도나 압력과 같은 물리적 환경의 변화에 의해 새로운 광물 조성 and 조직을 가진 암석으로 변화되는 작용을 변성작용이라고 하고, 이러한 변성작용에 의하여 생성된 암석을 변성암이라고 한다.

1. 셰일 또는 이암의 변성

셰일이나 이암을 모암으로 하는 변성암은 점판암, 천매암, 편암, 편마암이 있는데 모두 암석의 조직에 의해 붙여진 이름이다. 단, 점판암과 천매암은 일반적으로 이름 앞에 광물명을 수식어로 붙이지 않고 사용하지만, 조립질인 편암과 편마암의 경우에는 광물입자가 커서 판별이 가능하기 때문에 광물명을 수식어로 흔히 사용한다.

1) 점판암(clay slate)



셰일의 광역 변성 첫 단계로 변성 정도가 가장 낮은 암석이며 변성 광물이 생성되지 않는다. 결정 입자가 작아서 육안으로 광물을 식별하기가 어렵고 쪼개짐이 발달한다.

2) 천매암(phyllite)



점판암이 계속적인 변성작용을 받게 되어 새로운 광물이 자라게 되고 엽리가 발달한다. 점판암의 변성 단계에서는 건운모가 관찰되지 않으나 천매암에서는 미립의 건운모에 의해 편리면에 광택을 발한다.

3) 편암(schist)



천매암이 더욱 더 변성작용을 받게 되면 편리를 보여주는 조립질 암석인 편암이 생성된다. 변성 정도가 낮은 점판암이나 천매암과의 차이는 입자의 크기로 육안으로도 구별된다는 점이다. 편리가 발달하고 이 편리 면을 따라 잘 쪼개진다.

4) 편마암(gneiss)



변성 정도가 가장 높은 경우이며 조립질 입자에 의한 뚜렷한 엽리를 보인다. 편마암은 입자의 재결정에 의해 유색광물과 무색광물이 재배열되어 호층을 이룬다.

2. 석회암과 사암의 변성

석회암과 사암으로부터 생성된 변성암으로는 대리암과 규암이 있다. 석회암이나 사암에서는 보통 엽리가 잘 발달하지 않는데 이는 변성 당시 압력 조건 외에 층상 구조나 사슬 구조 광물들을 생성할 수 있는 성분이 없기 때문이다.

1) 대리암(marble)



대리암은 석회암이 재결정 작용을 받는 동안 층리, 화석 및 다른 퇴적암의 특징이 대부분 지워져 생성된 조립질 등립질 암석이다. 대부분의 대리암은 유기물, 황철석, 갈철석 및 소량의 규산염 광물들을 포함하여 여러 가지 색깔을 띠게 된다.

2) 규암(quartzite)



규암은 사암으로부터 생성되는데, 사암의 퇴적물 입자 사이의 공극이 규소 성분에 의하여 채워지고 전체가 재결정 작용을 받아서 생성된다. 재결정 작용에 의하여 입자의 구조가 완전히 재배열되지만, 때로는 본래 퇴적물 입자의 윤곽이 희미하게 보이는 경우도 있다.

3. 고철질암의 변성

고철질암이 저온의 변성작용을 받으면 기존의 광물에 녹렴석·녹니석 등이 생성되어 녹색편암이 된다. 온도가 높아지면 이들 광물은 대부분 분해되어 보통 각섬석과 사장석만을 주성분으로 하는 각섬암이 생성되고, 온도가 더 올라가면 휘석류도 나타난다.

1) 녹색편암(greenschist)



현무암에 물이 공급되어 함수 광물이 생성될 수 있는 환경에서 저변성작용을 받으면 녹니석+장석+녹렴석+양기석의 광물조합을 가지는 녹색편암이 생성된다. 엽리가 관찰되고 녹니석이 함유되어 있어 녹색을 띤다.

2) 각섬암(amphibolite)과 백립암(granulite)



녹색편암이 중 정도의 변성작용을 받으면 녹니석이 각섬석으로 대체되어 주로 각섬석과 사장석으로 구성되는 각섬암이 생성된다. 더욱 더 변성작용을 받게 되면 각섬석은 휘석으로 대체되어 휘석과 사장석이 주 구성 광물인 백립암이 생성된다.

4. 변성암의 분류 단계

구조적 특징			광물 성분, 기타 특징	암석명	모암
엽리 발달	세립	엽리면으로 쪼개짐이 잘 발달됨. 광물의 육안식별 불가.	엽리 면이 무덤, 판상. 광택 없음.	점판암	점토질 암석 점토질 암석 점토질 암석
		점판암에 비해 쪼개짐이 덜 발달됨. 광물의 육안식별 곤란.	엽리면이 파상굴곡을 이룸. 비단 광택.	천매암	
	중-조립	편리 판상의 광물들이 평행 배열 판상의 광물이 엽리 면을 따라 비늘 모양으로 떨어짐.	빛이 나는 판상의 결정. -녹니석, 흑운모, 백운모 날카로운 결정. -남정석 주상의 결정. -각섬석, 규선석	편암 녹니석편암 백운모편암 흑운모편암 남정석편암 각섬석편암 규선석편암	
		편마상 구조.	두 종류 이상의 담색, 암색 광물이 호층을 이룸.	편마암	
엽리 발달 또는 엽리 없음	중 내지 조립		대부분이 육안 식별 가능한 각섬석	각섬암	현무암, 반려암 초염기성암
엽리 없음	세립	유리질 조직	검은색의 윤기, 패각상의 깨짐.	무연탄 석탄	토탄 갈탄 역청탄
		미정질 조직	치밀, 강함, 방향성 없음.	훈펠스	세일 현무암
		미정질 조직	치밀, 지방광택, 녹색 ~ 검은색	사문암	초염기성암
	세립- 조립	사질 조직 또는 결정질 조직 사질 조직 또는 결정질 조직	석영 입자들 융합, 밝은색	규암	사암
			등립질의 방해석 결정, 치밀하게 융합된 상태, 염산 반응.	대리암	석회암
		역질 조직	자갈이 늘어나거나 암석의 쪼개짐 에 의해 잘림.	변성역암	역암

변성암의 분류

변성암은 열과 온도, 화학적 활성 기체나 액체의 작용으로 만들어진다. 높은 온도와 압력을 받은 암석은 새로운 조직이나 광물 조성을 갖는 변성암이 형성되는데 이를 각종 도구를 사용하거나 육안으로 관찰하여 분류해 보자.

다음의 내용에 유념하여 주어진 변성암 표본을 관찰하고 분류해 보자.

- 1) 변성암은 일반적인 육안 관찰에 의한 방법으로는 어떤 광물로 되어 있는지를 판별하기 쉽지 않은 경우가 있다. 이런 경우 암석의 대표적인 조직을 관찰함으로써 암석 명을 보다 쉽게 정할 수 있다.
- 2) 변성암은 압력에 의해 형성된 엽리가 많이 발달하기 때문에 우선 이를 중심으로 암석을 분류한다. 엽리가 잘 발달된 경우와 그렇지 않은 두 가지로 나눈 뒤에 구성 광물의 크기, 조직 또는 구조, 색, 엽리 면의 특징 순으로 보다 구체적인 구분이 가능하다.
- 3) 변성암의 명칭은 일부는 조직에 의거하여 명명되고, 일부는 광물 조합에 따라 구분한다.

결과 및 토의

1) 변성암 표본을 관찰한 결과를 다음 표에 기록해 보자.

표본 번호	엽리 유무	구성광물의 크기, 특징	육안 상 엽리면의 특징	암석명	원암
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

2) 위의 변성암을 분류할 때 제일 먼저 구분 기준이 된 것은 무엇이며, 그 이유에 대해 설명해 보자.

3) 다음의 변성암과 그 모암과의 공통점과 차이점을 설명해 보자.

규암과 사암

대리암과 석회암

편마암과 화강암



창의 탐구

어떤 암석의 표면을 육안으로 관찰하여 그 내용을 나열한 것이다.

- 이 암석은 검은 색의 광물과 밝은 색의 광물이 호층을 이루고 있다.
- 층리를 보여주는 잔류물이 다양한 크기와 모양으로 포함되어 있다.
- 장석이나 석영으로 이루어진 커다란 광물이 둘러싸여 늘어나 눈 모양의 단면을 보여주는 결정이 다수 포함되어 있다.



1) 이 암석이 어떤 작용에 의해 재구성된 변성암이라면 기존의 암석은 어떤 암석이었는지 그 근거를 들어 설명해 보자.

2) 관찰한 내용을 토대로 이 암석을 명명해 보자.

11

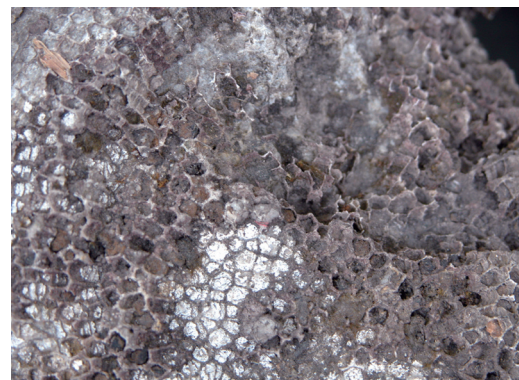
화석을 통한 고 환경 해석

생물의 분포는 온도, 일사량, 산소량, 해수의 깊이와 염도, 기후 등에 영향을 받으며 서식 환경이 달라지면 생물의 종류도 달라진다. 따라서 과거 지질시대의 환경에 적응하여 서식했던 생물들의 화석은 자신이 묻힌 지층이 퇴적될 당시의 환경에 대한 정보를 가지고 있다. 이와 같이 고생물이 생존했던 당시의 환경을 잘 보여주는 화석을 시상 화석이라고 한다. 적응 범위가 좁은 생물은 특정 환경 조건에 한정되므로 좋은 시상 화석으로서의 가치가 있으며, 이들의 연구를 통하여 지질 시대의 지형, 기후, 토질, 수질 등을 파악할 수 있다. 대표적인 화석으로는 고사리, 산호, 유공충 등이 있다.

육상 생물의 대표적 시상 화석은 고사리이다. 양치식물에 속하는 고사리류는 고생대에 이르러 육상에 크게 번성하여 줄기의 지름이 1 m, 높이가 수 m에 이르렀으며, 퇴적층에 매몰되면 오랜 시간에 걸쳐 굳어지면서 수분이 빠져나가고 탄화되어 화석으로 변한다. 현재에도 지구상의 여러 곳에서 볼 수 있고, 그 종류도 매우 다양하다. 오늘날 고사리류는 비교적 따뜻하고 습기가 많은 지역에 서식하고 있다. 따라서 과거의 고사리류 역시 이러한 환경에서 생활하였을 것으로 추정할 수 있다. 따라서 어떤 지층에서 고사리 화석이 발견되었다면 과거 이 지역의 기후가 온난 다습하였다는 것을 알 수 있다. 또한 고생대에 번성했던 대규모의 고사리류가 매몰되어 퇴적되면서 높은 압력과 열작용을 받으면 식물체를 구성하던 수소와 산소 등의 성분은 날아가고 탄소 성분만 남아 석탄으로 변한다.



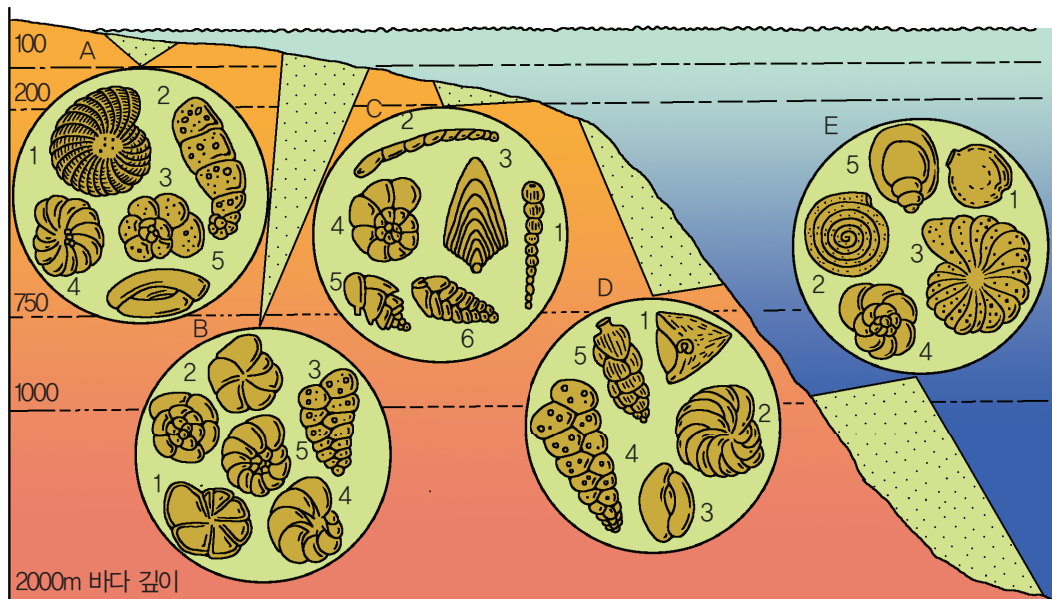
〈그림 II-32〉 고 기후의 지시자 고사리 화석



〈그림 II-33〉 벌집판 모양의 산호 화석

수중 생물의 대표적 시상화석으로는 산호를 들 수 있다. 산호는 고생대 캄브리아기에 나타나 현재까지 생존하는 강장동물이다. 산호초를 이루며 살아가는 산호는 바닷물의 온도나 염분에 민감하므로 퇴적 당시의 환경을 알 수 있다. 산호는 대체로 수온 18℃ 이상에서 25℃ 전후, 투명도가 높고, 태양 빛이 도달하는 50 m 이내의 얕은 바다에서 서식한다. 따라서 산호가 잘 발달된 지층은 수온 25℃ 전후, 육지에서 운반된 퇴적물이나 육수(陸水)의 영향이 적고 투명도가 높은 보통의 해수 속에 생긴 것으로 판단한다.

규조, 유공충, 화분과 포자 등의 소형 화석들은 퇴적 수역과 육지와와의 관계, 수심, 온도, 기후 등을 추정하는 데 도움이 되는 시상 화석이다. 규조는 광합성을 하는 단세포 원생식물로서 해수나 담수를 포함하는 모든 수성 환경에서 부유성 또는 저서성으로 서식하며 염분이나 수온 등의 변화에 민감한 반응을 보이므로 고 환경을 연구하는 데 유용하다. 유공충은 해저 생물로 종류마다 서식하는 수심이 다르다. <그림 II-34>에서와 같이 지층 내에서 산출되는 유공충 화석을 조사하여 지층이 퇴적될 당시의 수심이나 해저 환경을 유추할 수 있다. 식물의 포자와 화분은 줄기나 잎에 비해 그 양이 많고 쉽게 부식되지 않기 때문에 육상 또는 해안 퇴적층에서 쉽게 채취할 수 있어 고 기후학적 해석에 유용하게 사용된다.



〈그림 II-34〉 바다의 깊이에 따른 유공충의 분포도(Ziegler, 1983)

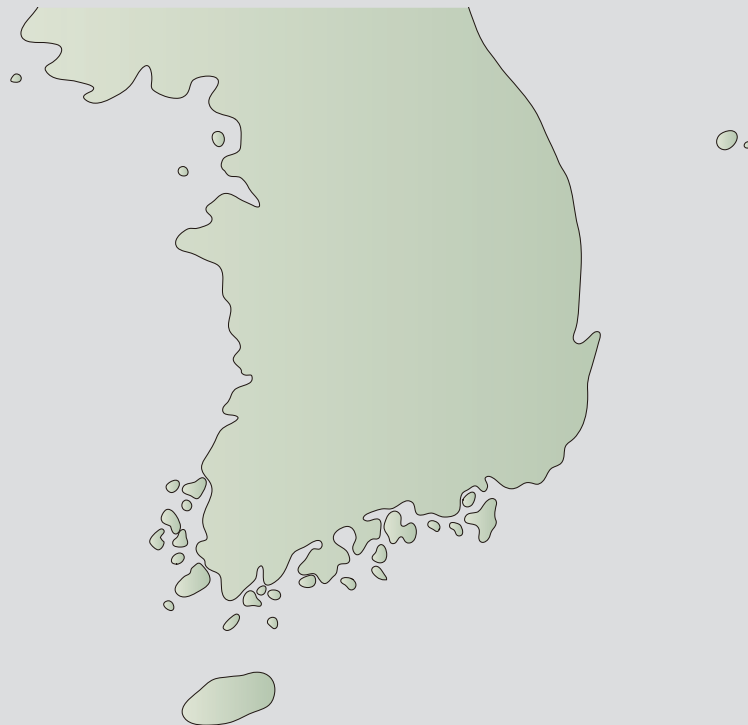
- A: 상부 대륙붕(1, Elphidium, 2, Amnobaevlites, 3, Torchammina, 4, Ammonia, 5, Quinquevulvina)
- B: 중부 대륙붕(1, Cibicides, 2, Eponides, 3, Textularia, 4, Lenticulina, 5, Discorbinella)
- C: 하부 대륙붕(1, Nodosaria, 2, Dentalina, 3, Frondicularia, 4, Discorbis, 5, Bulimina, 6, Bolivina)
- D: 상부 대륙 사면(1, Triloculina, 2, Cassidulina, 3, Sigmoilina, 4, Karreriella, 5, Uvigerina)
- E: 하부 대륙 사면 및 심해(1, Pyrgo, 2, Ammodiscus, 3, Cyclammina, 4, Epistominella, 5, Chilostomellina)

화석 분포 조사를 통한 한반도 고 기후 고 환경 해석

한반도에는 선캄브리아대에서 신생대까지 각 지질시대별로 다양한 화석이 산출되고 있다. 산출되는 화석을 연구하여 한반도 지층의 분포와 역사 그리고 기후와 환경을 살펴볼 수 있다. 이 장에서는 화석에 관련하여 인터넷 검색이나 자료 조사를 통하여 지질시대에 한반도의 기후와 환경이 어떻게 변해왔는지 알아보자.

화석의 분포를 알아보기 위해서는 우선 지질 분포의 특성을 알아야 한다. 화석은 대부분 퇴적암 층에서 산출되므로 퇴적암이 주로 어디에 분포하는지, 지형의 특성상 계곡이나 절개지를 따라 퇴적암층이 노출되어 있는 곳이 어딘지를 파악한다.

- 1) 한국지질자원연구원(<http://www.kigam.re.kr/>) 홈페이지에서 한국의 지질도를 검색하여 아래의 지도에 개략적인 지질계통(지층의 분포)을 나타낸다.
- 2) 화석 관련 각종 인터넷 사이트(<http://www.hwasuk.com/>, <http://www.jejufoossil.co.kr/>, <http://uhangridinopia.haenam.go.kr/>, <http://ywmuseum.com/section/hs/html/main.jsp>)를 통해 한반도에서 산출되는 화석을 찾아 지도에 표시한다.
- 3) 지층과 산출되는 화석을 서로 비교하여 지질 시대 당시의 환경을 해석한다.



결과 및 토의

1) 조사한 내용을 아래의 표에 기록하자.

행정구역	지질 계통 (지층명)	지질 시대	화석 이름	특징 (고기후 고환경)

2) 한반도에서 산출되는 화석을 표준 화석과 시상 화석으로 구분해 보자. 구분 근거가 무엇인지 말해 보자.

3) 화석의 산출 상태를 생물의 종이나, 산출 규모의 특징을 중심으로 설명해 보자.

4) 한반도에서 지질 시대별 화석 분포의 특징은 어떠한가? 이를 기준으로 지질 시대의 기후나 환경을 설명할 수 있는가?



창의 탐구

1) 다음 그림은 천연기념물로 지정된 인천광역시 소청도(왼쪽)와 강원도 영월(오른쪽)의 스트로마톨라이트(stromatolite) 화석이 산출되는 지층의 모습이다.



① 인터넷 검색이나 관련 논문을 참고하여 두 화석의 특징을 비교한 다음의 표를 완성해 보자.

내용	인천 소청도	강원도 영월
지질 시대		
지질 계통		
암석 명		
화석의 특성		
수반된 퇴적 구조		
지각 변동 증거		

② 화석의 조사를 통해본 두 지역의 퇴적 환경의 차이점을 설명해 보자.

2) 한반도에서 신생대층은 주로 동해안을 따라 산재하여 분포하고 있다. 특히 포항 일원은 신생대 제 3기에 퇴적된 해성층으로서 다량의 유공충 화석이 산출되고 있다. 유공충 화석의 생물학적, 층서학적, 경제적 가치에 대해 논해 보자.

12

고생물의 진화

화석은 과거 지질 시대에 생존했던 생물의 유해나 흔적이 지층 속에 남아 생물체의 구조나 생활 환경을 알아볼 수 있는 물체를 말한다. 화석의 연구를 통하여 지층의 대비, 고 기후, 고 환경, 지질 시대의 수륙 분포, 생물 진화의 경향 등의 추정이 가능하며, 자원 탐사에도 이용된다. 화석은 생물의 형체가 완벽히 보존된 상태는 매우 드물며, 다른 물질로 치환되어서 보존되거나, 지층 속의 화석이 지하수에 용해되어 없어지면서 그 화석의 외형과 똑같은 형태나 생활한 흔적만 남아 있는 경우가 대부분이다. 이와 같이 생물체의 전부 또는 일부가 남아서 화석화된 것을 체화석이라 하고, 생물의 흔적이 남아 있는 것을 생흔화석이라고 한다. 따라서 지층 속에서 산출되는 화석의 연구를 통하여 지질시대에 서식했던 생물이 어떻게 발생하였으며 오랜 세월을 통하여 어떠한 환경 속에서 진화되어 왔는지 파악할 수 있다.

지질 시대별 화석의 종류와 진화 경향을 살펴보면 먼저 선캄브리아대의 생물들은 개체수가 적고 거의 연한 몸체로 되어 있었기 때문에 화석으로 남기 어려웠으며, 또한 많은 지각 변동으로 인해 파괴되었기 때문에 화석이 매우 드물다. 현재까지 알려진 화석 중 가장 오래된 것은 서부 오스트레일리아와 남아프리카에 분포하는 약 35억 년 전의 지층에서 산출된 탄소질의 유기물이다. 이것은 소형의 구형체와 섬유상의 화석으로 현생 남조류와 유사하다. 원생대 지층에서는 여러 지역에서 스트로마톨라이트가 발견된다. 이것은 군체를 이룬 석회질의 분비물에 의해 만들어진 것이다. 스트로마톨라이트는 지구 생명의 근원과 탄생의 역사를 밝힐 수 있



〈그림 II-35〉 스트로마톨라이트(좌)와 호상 철광층(우)의 단면

는 열쇠로 알려져 있다. 식물 화석은 대부분 소형의 구형체이거나 섬유상이며 시간이 지남에 따라 크기가 증가하고 모양이 복잡해지는 진화 양상을 보인다. 이 시대에 형성된 호상 철광층은 바다 속에서 시아노박테리아의 광합성으로 생성된 산소에 의해 철분이 산화되어 침전한 것으로 당시 많은 광합성 생물이 서식하였음을 알려주며 이로 인해 대기 중의 산소가 점차 증가하게 되었다.

고생대 전기까지 분리되어 있던 대륙들은 데본기부터 곤드와나 대륙과 로라시아 대륙이 서서히 접근하면서 페름기에는 이들이 충돌하여 거대한 초대륙인 판게아를 형성하였다. 초기에는 기후가 전 세계적으로 온난한 기후를 나타냈으며, 중기에도 대체로 온난하였으나 오르도비스기 말기에서 실루리아기 초에 걸쳐 고위도 지방에 빙하 활동이 있었고, 석탄기 말에서 페름기에 걸쳐서는 남반구의 광범위한 지역에 빙하기가 있었다. 캄브리아기가 시작되면서 생물 종의 다양성이 크게 증가하였다. 대부분의 생물들은 물속에서 살았으며 단단한 골격을 가진 진화된 생물들이 많이 출현하였다. 고생대에는 동물은 무척추 동물이었으며, 식물은 주로 조류였다. 고생대 초기인 캄브리아기에는 대부분 동물의 각질부가 석회질보다는 유기질로 되어 있었으며, 주로 삼엽충과 완족 동물이 지배적이었다. 오르도비스기에는 세계적으로 필석 퇴적상과 각질 퇴적상이 발달하여 전자는 주로 필석류를 수반하는 흑색 셰일, 후자는 주로 삼엽충·완족류 및 두족류의 화석을 가진 석회질암을 이루었다. 이 시대의 무척추동물은 석회질로 된 각질부를 이루었고, 특히 척추동물의 시조인 원시어류가 최초로 출현하였다. 실루리아기 후기에는 최초의 육상식물이 출현하였고, 데본기에는 어류가 크게 번성하였으며 데본기 후기에는 양서류가 최초로 출현하였다. 석탄기에는 양치식물, 석송류, 유절류 등이 크게 번성하였고, 파충류가 최초로 출현하였다. 페름기 말에는 삼엽충, 산호류, 방추충 등이 절멸하고, 완족동물, 해백합, 노틸로이드 등 무척추동물군의 큰 쇠퇴 현상이 있었다.



〈그림 II-36〉 고생대의 표준 화석 삼엽충(좌)과 완족류(우) 화석

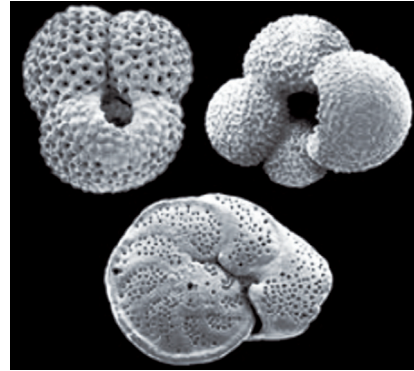
중생대에는 고생대에 번성하던 삼엽충을 비롯하여 많은 생물이 고생대 말에 절멸하고 새로

출현한 두족류, 파충류 등이 번성하였다. 중생대 초 트라이아스기의 바다에는 두족류가 번성하였는데 이들 중 암모나이트가 전성기를 맞이하였다. 암모나이트 화석은 격벽과 껍데기가 접하여 만들어진 봉합선이 있는데 이것은 생물의 진화 단계를 잘 보여 주는 것이다. 트라이아스기의 육지에서는 겉씨 식물과 파충류가 번성하여 후기에 이르면 이들로부터 공룡과 포유류가 출현한다. 쥐라기의 바다에서는 암모나이트, 벨렘나이트, 방산충, 해면동물 등이 널리 서식하였으며, 척추동물로는 경골어류가 번성하였다. 육지에서는 파충류가 널리 번성하여 이 시기를 파충류의 시대라고 일컫는다. 그리고 시조새라고 불리는 조류의 시조가 출현하는데 이는 파충류에서 조류로 진화해가는 중간 단계로 보인다. 백악기에 접어들면서 생물의 종이 매우 다양해진다. 당시 바다에서는 암모나이트, 복족류, 성게류 등의 무척추 동물과 경골어류, 어룡, 바다거북 등의 척추동물이 번성하였다. 식물로는 양치식물과 겉씨식물이 번성하였고, 최초의 속씨식물도 출현하였다. 백악기 말에는 암모나이트 등 많은 바다 생물과 공룡이 멸종하였는데 그 이유는 운석충돌에 기인된 것으로 알려져 있다.



〈그림 II-37〉 중생대의 척추동물 화석 공룡 발자국(좌)과 시조새(우)

신생대에는 중생대까지 번성하였던 두족류인 암모나이트류나 파충류인 공룡류 등은 절멸되었고, 이들을 대신하여 포유류·조류·경골어류 등이 이 시대에서 번성하였다. 무척추동물로는 유공충, 부족류나 복족류 등이 표준 화석으로 많이 등장한다. 포유류로는 말·코끼리·코뿔소 등의 선조가 발전하였으며, 원시 식충류로부터 진화된 영장류에서 인류가 출현하기도 하였다. 식물에서는 속씨식물 등이 뚜렷한 번식을 하였다. 현재 세계의 해륙 분포는 신생대 초기에 활동한 알프스 조산 운동의 결과이며, 히말라야·알프스 등의 대산맥도 이때 형성되었다. 제4기는 빙하 시대라고도 하며 주기적으로 4번에 걸쳐 빙기가 있었다. 이 시대의 생물은 현생 종에 가까우며 식물로는 속씨식물이 번성하였고, 동물로는 포유류가 크게 번성하여 포유류의 시대라 한다. 제4기에는 인류의 조상이 출현하였다.



〈그림 II-38〉 신생대의 포유류(매머드, 좌)와 무척추 동물(유공충, 우) 화석

탐 구 활 동

! 준비물 ! 컴퓨터, 각종 화석 관련 도감이나 참고 자료

화석을 통한 고생물의 진화 경향 해석

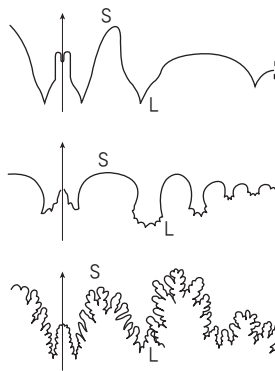
화석의 가치는 석유나 석탄 등의 화석연료 개발이나 철박테리아가 만든 철광층과 같은 경제적인 면과 표준화석을 이용한 지질시대 구분이나 시상화석을 이용한 고지리, 고 환경 연구와 같은 학술적인 가치로 나누어 생각할 수 있다. 이 활동에서는 지질 시대의 화석의 구조와 모양의 변화를 통하여 고생물의 일반적인 진화 경향을 알아본다.

결과 및 토의

- 1) 그림 (가)는 고생대 말에서 중생대까지 번성했던 두족류 화석의 모습이고, 그림 (나)는 두족류의 격벽과 바깥쪽 겹질의 벽이 접하여 만들어진 봉합선의 모양을 시대별로 나타낸 것이다(그림에서 S: 안장, L: 귓불, 화살표 방향은 앞쪽). 봉합선의 구조를 통해 본 두족류의 진화 경향을 설명해 보자.



(가)



(나)

시대 : 석탄-페름기
봉합선 : 고니아타이트형

시대 : 트라이아스기
봉합선 : 세라타이트형

시대 : 쥐라-백악기
봉합선 : 암모나이트형

2) 다음 그림은 연체동물 중 이매패류(가)와 복족류(나)의 모습이다. 위의 두 족류와의 차이점을 말해 보자.



(가)



(나)

3) 다음 그림 (가)는 전기 고생대 지층인 강원도 태백의 석회암 층에서 산출되는 삼엽충의 화석을 나타낸 것이고, 그림 (나)는 경상남도 고성 의 백악기 지층에서 산출되는 공룡 발자국 화석이다.



(가)



(나)

① 위의 두 화석을 통하여 알 수 있는 동물의 진화 경향을 말해 보자.

② 화석 (나)에서 발자국의 구조나 나열된 모습을 통하여 공룡을 두 가지로 구분하고, 각각의 신체적 특성이나 보행 등 행동 특성을 설명해 보자.



창의 탐구

생물의 대 멸종이 지질시대 동안에 여러 번 일어났다는 사실을 암시하는 화석 기록상의 증거에 대해 토의해 보자.



III

대기와 해양



[단원 안내]

대기의 상태는 인류의 생활에서 가장 기본이 되는 먹고 입고 것뿐만 아니라 어디에 머물 것인가를 결정하는 중요한 요인이 되고 있다. 또한 인류의 역사를 볼 때 한 문명의 탄생과 쇠퇴에 큰 영향을 주었다. 인류의 운명을 바꾼 많은 전쟁에서도 날씨와 기후는 그 흐름을 바꿔놓기도 하였다. 인류가 날씨라고 부르는 기상현상에 관심을 가지고 탐구해온 것은 인류의 역사만큼이나 오래되었지만 우리 주변의 물리량에 대한 과학적인 측정은 17세기부터 이루어져 왔다. 일기도를 이용하기 날씨를 예측하기 시작한 것은 19세기가 되어서였으며, 20세기로 접어들어 기상 위성과 수치 예보가 도입되면서 대기와 해양의 운동에 대한 이해의 폭을 넓힐 수 있게 되었다.

이 단원에서는 대기와 해양에 대한 여러 현상에 대하여 탐구하는 방법을 익히고, 각 현상에 대한 과학적인 이해를 위한 탐구활동으로 구성되어 있다. 그 내용으로는 지구 시스템의 구성, 지구에서의 에너지 수지, 강수 이론, 일기도 분석 등의 기본적인 것에서부터 간단한 수치모형과 같은 쉽게 접하기 어려운 것까지 다양한 주제로 되어 있다. 이러한 탐구 활동을 통하여 대기와 해양의 상태 및 특성을 파악하려고 한다. 또한 각 주제마다 심화된 내용을 포함하고 있어 이를 해결하는 과정에서 탐구력과 창의력을 신장시키고자 한다.

1

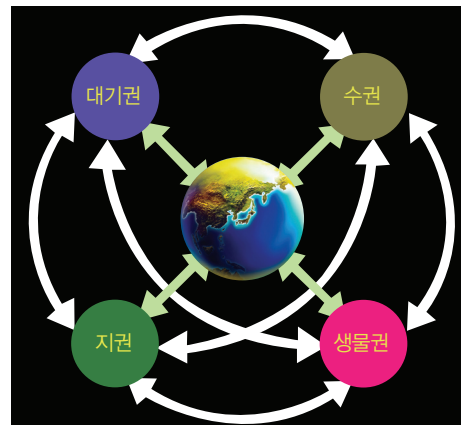
지구시스템의 이해

얼마 전까지 지구에 대한 연구는 지질학, 기상학, 해양학, 천문학으로 나뉘어 독립적으로 이루어졌다. 그러나 최근에는 각 영역 사이의 상호작용으로 인하여 지구를 하나의 통합된 시스템(system)으로 보는 관점이 증가하고 있다.

1. 지구시스템의 구성

시스템이란 용어는 물리화학에서 사용되는 계라는 개념과 유사하며, 응용과학 분야에 많이 사용되고 있다. 지구과학과 관련해서는 지구시스템 과학(Earth System Science)이란 용어가 보편적으로 사용되고 있다.

일반적으로 시스템이란 서로 상호작용을 하는 요소로 구성된 전체 덩어리를 말한다. 지구는 지권, 수권, 생물권, 대기권 등의 요소로 구성되어 있다. 또한 이 요소들도 다시 몇 가지로 분할할 수 있다. 각 요소는 서로 물질과 에너지를 주고받는데, 그 과정에서 지구 내부에서는 맨틀대류, 지구 자기운동, 화산활동, 지진 등이 발생하고 지구 표면에서는 생물의 발생과 진화, 소멸, 대기의 순환과 기상현상이 일어난다.



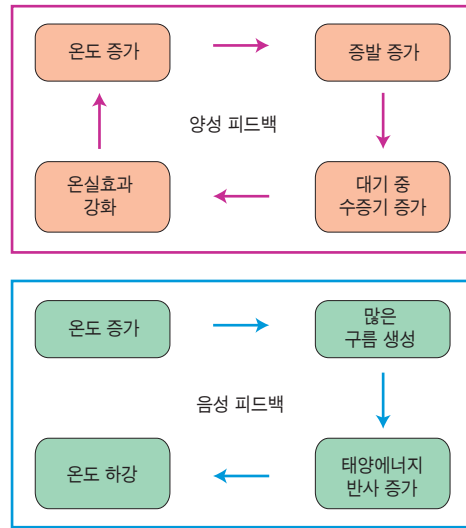
〈그림 Ⅲ-1〉 지구시스템의 구성

2. 지구시스템 내의 상호작용

시스템과 외계와의 사이에 열과 물질의 교환이 있으면 열린계, 교환이 없으면 고립계라 한다. 또한 열은 주위와 교환하지만, 물질은 교환하지 않으면 닫힌계라 한다. 지구시스템을 구성하는 서브 시스템은 열린계로 서로 물질이나 열의 교환이 일어나고 있다.

예를 들어 인류의 활동으로 인해 대기에 배출되는 이산화탄소량은 증가해 왔다. 대기 중의

이산화탄소 농도가 증가하면, 대기-해수 사이의 상호작용으로 해수 중의 이산화탄소 농도도 증가한다. 수권과 지권 사이의 물질 교환은 해저에서의 광상이 있다. 해수가 해양 지각의 틈을 통하여 지하 깊은 곳으로 이동하면 마그마나 고온의 암체에 의해 가열되면서 주위로부터 물질을 녹여 이들을 다량으로 포함한 고온의 열수가 된다. 이 열수와 함께 밀도가 낮아진 물질들은 분출되어 해저면 위에 침전되어 광상이 된다. 서브 시스템 사이에서의 열 교환은 화산 활동 등을 통하여 일어나고 있다. 이상의 예에서 알 수 있듯이 지구 시스템을 구성하는 서브 시스템 사이에서는 여러 가지 형태로 물질과 열의 교환이 이루어지고 있다.



〈그림 Ⅲ-2〉 양성 피드백과 음성 피드백의 예

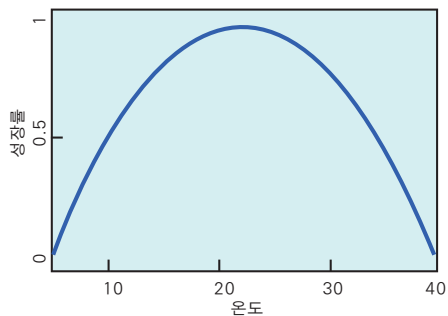
시스템 사이에서 발생한 어떤 일의 결과가 다시 원인에 영향을 미치는 현상을 되먹임 또는 피드백(feedback)이라고 한다. 피드백에는 결과가 원인을 더 강화시키는 양성 피드백(positive feedback)과 원인을 약화시키는 음성 피드백(negative feedback)이 있다. 예를 들어 기온이 상승하면 수증기의 증발량이 많아진다. 대기 중에 증가한 수증기로 인해 온실효과가 가속되어 기온이 더 상승하게 되는 과정은 양성 피드백이며, 증가한 수증기로 인해 구름이 많아져서 지구의 반사율이 증가하고 그 결과로 지구의 온도가 낮아지게 되는 과정은 음성 피드백이다.

지구 환경은 지구를 구성하는 서브 시스템 사이에서 수많은 양성 피드백과 음성 피드백이 서로 복잡하게 관계하기 때문에 지구를 하나의 시스템으로 보는 관점이 필요하다.

2. 지구시스템의 예 - 데이지 월드

지구시스템 중에서 지구의 기후 상태를 결정하는 요소 전체를 기후 시스템이라고 한다. 기후 변화를 설명하기 위해서는 많은 요소들 사이의 상호작용을 이해해야 하는데 이를 위해서는 시스템 개념을 도입해야 한다.

이런 시스템의 대표적인 예로 가이아(Gaia) 이론의 창시자인 러브록(Lovelock)이 제시한 데이지 월드(Daisy world)가 있다. 데이지 월드는 생물권이 대기권, 특히 지구의 온도에 어떻게 관여하는지를 보여주는 간단한 컴퓨터 모델이다. 일부 생물학자들이 생명체가 지구의 기후 조절에 관여하기 위해서는 많은 생명체들 간의 계획된 협력이 필요한데 이런 협력은 절대 불가능하다며 가이아 이론을 비판하자 러브록은 데이지 월드 모델을 만들어 서로의 상호작용이 가



〈그림 Ⅲ-3〉 데이지의 성장률 곡선

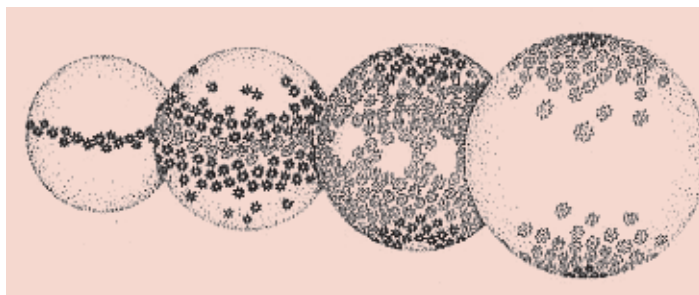
능하다는 것을 보였다.

데이지 월드는 지구와 비슷한 행성으로 우리의 태양과 비슷한 항성의 주위를 돌고 있으며, 이 행성에 존재하는 생명체는 태양 에너지에 대한 반사율이 크게 차이가 나는 검은색과 흰색의 데이지뿐이다. 데이지가 성장할 수 있는 온도대는 〈그림 Ⅲ-3〉과 같이 약 5~40 °C이고 최대로 성장할 수 있는 온도는 22.5 °C이다.

데이지 월드에서의 태양은 처음에는 적은 양의 에너지를 방출하다가 점차 방출량이 늘어난다. 방출되는 태양 에너지의 증가로 행성의 온도도 서서히 올라간다. 행성의 온도가 5 °C가 넘으면서 데이지는 발아하여 꽃을 피우기 시작한다. 이때부터 데이지 월드의 온도는 생물권의 영향을 받게 된다. 처음 행성에 도달하는 태양 에너지가 적을 때는 태양 광선에서 더 많은 에너지를 받아들일 수 있는 검은색 데이지 주변의 온도가 반사를 많이 하는 흰색 데이지의 주변보다 높아진다. 이 때문에 검은색 데이지가 성장에 유리하여 흰색 데이지보다 더 많이 번성하게 된다. 그리고 그 덕분에 행성은 데이지가 없을 때보다 온도가 높아진다.

태양의 방출 에너지가 점점 늘어남에 따라 행성의 온도가 올라가 22.5 °C 이상이 되면 빛을 반사함으로써 자신의 몸과 주변의 온도를 낮추는 흰색 데이지가 차츰 성장이 유리해져 행성은 흰색 데이지로 덮이게 된다. 이때 행성의 온도는 데이지 덕분에 데이지가 없는 경우 보다 온도가 낮아진다. 태양에서 방출되는 에너지가 더 많아지면 흰색 데이지의 반사로도 데이지 월드의 온도가 40 °C 이상으로 올라가는 것을 막을 수 없게 되면서 모든 데이지는 죽게 된다. 결국 시스템이 무너져 데이지 월드에는 생명체의 모습이 사라지게 되고 지구의 온도는 다시 생명체가 없는 행성의 온도와 같아진다.

러브록은 데이지 월드를 통해 생명체가 존재하지 않는 경우 행성의 온도는 태양 광도에 비례하여 변하지만 생명체가 존재하는 경우에는 생명체들의 상호작용으로 행성의 온도가 일정하게 유지된다는 것을 보여주었다.



〈그림 Ⅲ-4〉 데이지 월드에서 시간에 따른 데이지 분포

3. 데이지 월드의 구성

1) 데이지 월드의 온도

데이지 월드의 온도는 지구의 복사평형 온도를 구하는 방법과 같은 방법으로 구한다. 즉 방출하는 에너지(E_{em})와 흡수하는 에너지(E_{abs})가 같다는 것을 이용하여 구한다. 먼저 데이지 월드가 방출하는 에너지는 데이지 월드의 온도(T_p)가 결정되면 다음과 같이 슈테판-볼츠만 법칙을 통해서 계산할 수 있다.

$$E_{em} = \sigma_{SB} A T_p^4 \cdots (1)$$

여기서 σ_{SB} 는 슈테판-볼츠만 상수이고, A 는 데이지 월드의 면적으로 전체 면적을 1로 두었다. 데이지 월드가 흡수하는 에너지의 양은 데이지 월드에 들어오는 에너지(E_{rec})에서 반사하는 에너지(E_{ref})를 빼주어야 하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E_{em} = E_{rec} - E_{ref} \cdots (2)$$

E_{rec} 는 데이지 월드에 도달하는 태양 에너지로 30억 년 동안 550 W/m^2 에서 2195 W/m^2 까지 선형으로 증가하도록 하여 이를 변화율을 고려해 다음과 같이 계산한다.

$$E_{erc} = S \times L \cdots (3)$$

여기서 S 는 태양 상수 917 W/m^2 이며, L 은 0.6에서 2.4까지 시간에 따라 선형적으로 증가하도록 한다.

E_{ref} 는 E_{rec} 에 반사율을 곱한 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_{erf} = E_{rec} \times \alpha_p \cdots (4)$$

여기서 α_p 는 데이지 월드의 반사율로 데이지의 분포에 의해 결정된다.

식 (2), (3), (4)를 이용하여 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$E_{abs} = S \times L(1 - \alpha_p) \cdots (5)$$

식 (5)와 식 (1)를 정리하면 온도에 관한 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$T_p = \left(\frac{S \times L(1 - \alpha_p)}{\sigma_{SB}} \right)^{1/4} \cdots (6)$$

위 식으로부터 데이지 월드의 온도를 구할 수 있다. 여기서 데이지 월드의 반사율 α_p 는 데이

지의 분포에 의해 결정되는데 그 식은 다음과 같다.

$$\alpha_p = \alpha_{white}a_{white} + \alpha_{black}a_{black} + \alpha_b a_b \cdots (7)$$

위 식에서 α_{white} , α_{black} , α_b 는 각각 흰 데이지, 검은 데이지, 데이지가 없는 지역의 반사율로 각각 0.75, 0.25, 0.5로 두었다. a_{white} , a_{black} , a_b 는 각각 흰 데이지, 검은 데이지 그리고 데이지가 자라지 않는 지역의 면적이다. 이 세 면적을 합치면 1이 된다.

2) 데이지의 면적

데이지가 차지하는 면적은 색깔에 관계없이 데이지 성장률과 빈 공간이 넓을수록 증가하지만 데이지의 사망률에 따라 감소하므로 다음과 같다.

$$\frac{dA_{Daisy}}{dt} = A_{Daisy}(a_b\beta - \gamma) \cdots (8)$$

$\frac{dA_{Daisy}}{dt}$ 는 시간 t 에 대한 데이지의 면적 A_{Daisy} 의 면적 변화량이다. a_b 는 데이지가 없는 지역의 면적으로 1에서 두 데이지가 차지하고 있는 면적을 빼서 구한다. β 는 데이지의 성장률로 <그림 III-3>과 같이 데이지가 성장할 수 있는 최적 온도인 22.5 °C에서 최댓값 1이 되고, 5 °C 이하이거나 40 °C 이상이면 성장을 멈추어 값이 0이 되도록 다음과 같이 2차 함수로 설정하였다.

$$\beta = 1 - 0.003265 (22.5 - T_D)^2 \cdots (9)$$

식 (9)에서 T_D 는 데이지가 자라는 지역의 온도로 데이지의 색에 따른 반사율과 데이지 월드 전체 온도에 따라 달라지므로 다음과 같이 정의하였다.

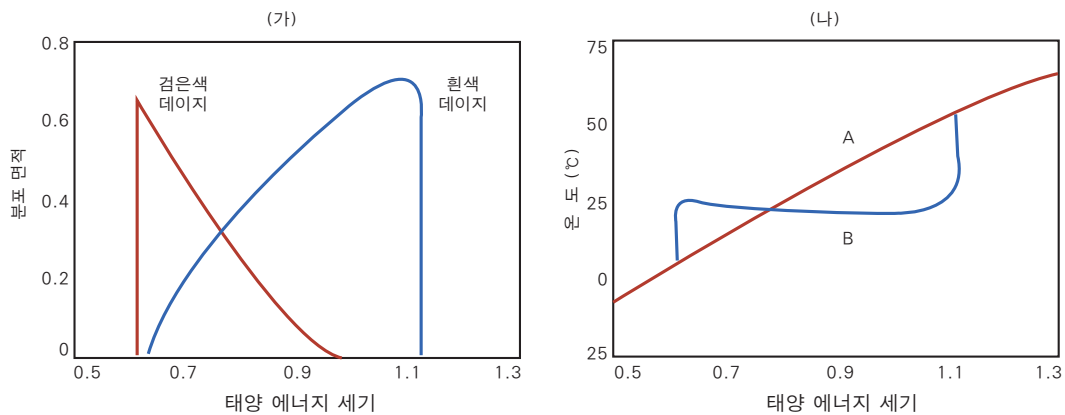
$$T_D = F_{HA}(\alpha_p - \alpha_s) + T_p \cdots (10)$$

T_p 는 데이지 월드의 온도이며, F_{HA} 는 열흡수 상수로 그 값을 20으로 고정하였다. 즉 데이지 색의 반사율로 인하여 데이지 월드 전체 온도보다 흰 데이지 부근은 온도가 5 °C 낮고, 검은 데이지 부근은 5 °C 높아진다. (8)식에서 γ 는 주어진 시간 동안의 데이지 사망률로 0.3으로 두었다.

3) 결과

모델의 결과로 태양 에너지의 세기에 따른 두 데이지의 분포 면적의 변화와 데이지의 존재 여부에 따른 행성의 온도 변화는 <그림 III-5>와 같다.

〈그림 Ⅲ-5〉의 (가)를 보면 태양 에너지가 작을 때는 검은색 데이지가 행성의 대부분을 차지하다가 에너지가 점점 많아지면서 흰색 데이지의 면적이 넓어지는 것을 알 수 있다. 그림 (나)에서 데이지가 없는 경우 (A)는 행성 전체의 반사율인 α_p 가 0.5로 일정하므로 행성의 온도는 태양 에너지의 증가에 따라 올라간다. 그러나 데이지가 있는 경우(B)에는 시간에 따라 두 데이지의 분포 면적에 따라 α_p 가 변하면서 행성의 온도도 변하게 된다. 그 결과 행성의 온도가 데이지가 발아할 수 있는 이상의 온도가 되면 검은색 데이지의 영향으로 급격히 온도가 상승한 후 두 데이지의 분포 변화로 일정하게 유지된다는 사실을 보여준다. 즉 생물권과 대기권의 상호작용으로 행성의 온도를 결정한다는 것을 알 수 있다.



〈그림 Ⅲ-5〉 데이지 월드에서의 두 데이지의 분포면적 변화(가)와 온도 변화(나).
데이지가 없는 경우(A)와 있는 경우(B).

탐 구 활 동

데이지 월드의 제작

- 1) C++로 만들어진 데이지 월드의 코드를 참고하여 각자 데이지 월드를 만들어 보자. 프로그램을 직접 짜기 힘든 경우에는 엑셀을 이용해 보자.
- 2) 흰색 데이지와 검은색 데이지의 반사율이 각각 0.05와 0.95인 경우, 0.4와 0.6인 경우의 행성의 온도는 어떻게 변하는지 알아보자.

3) 두 종류의 데이지 외에 반사율이 0.5인 회색데이지를 모델에 추가하는 경우 행성의 온도는 어떻게 변하는지 알아보자.

4) 데이지의 성장률이 가장 좋은 온도가 22.5 °C이 아니라 15 °C인 경우에 행성의 온도는 어떻게 변하는지 알아보자.

5) 데이지의 사망률이 0.3에서 0.1과 0.5로 변하는 경우 데이지의 개체수와 행성의 온도에 어떤 변화가 생기는지 알아보자.



창의 탐구

데이지 월드에서 데이지뿐만 아니라 이를 먹이로 하는 초식 동물과 초식 동물을 먹이로 하는 육식 동물이 존재하는 새로운 데이지 월드를 만든다면 어떤 방법으로 추가하면 될지 생각해 보자.

프로그래밍 코드(C++)

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <math.h>
using namespace std;
void main(){
    double Tp, S, sb=0.000000056696;
    double Au, Ab=0, Aw=0, albedo=0, ALu=0.5, ALb=0.25, ALw=0.75, F=20, dr=0.3;
    double GFb, GFw, Tb, Tw, dAb, dAw;
    double black[200], white[200], T[200];
    ofstream outstream;
    outstream.open("output.txt");
    for (int time=0; time < 200; time++){
        S=550+(5.5*time);
        Au=1-Ab-Aw;
        if (Ab<0.0001)        Ab=0.0001;
        if (Aw<0.0001)        Aw=0.0001;
        albedo= (Au*ALu) + (Ab*ALb) + (Aw*ALw);
        Tp=sqrt(sqrt((S*(1-albedo))/sb));
        Tw=F*(albedo-ALw)+Tp;
        Tb=F*(albedo-ALb)+Tp;
        GFb=1-(0.003265*(295.65-Tb)*(295.65-Tb));
        GFw=1-(0.003265*(295.65-Tw)*(295.65-Tw));
        if (GFb<0)            GFb=0;
        if (GFw<0)            GFw=0;
        dAb=Ab*(Au*GFb-0.3);
        dAw=Aw*(Au*GFw-0.3);
        Ab=Ab+dAb;
        Aw=Aw+dAw;
        T[time]=Tp;
        black[time]=Ab;
        white[time]=Aw;
    }
}
```

2

복사 법칙

물체는 성질에 따라 입사하는 복사의 특정 부분을 흡수한다. 만약 입사하는 모든 복사를 다 흡수한다면 그 물체를 흑체(black body)라고 한다. 또한 절대온도 0K보다 높은 온도의 물체는 온도에 따라 복사 에너지를 방출한다. 물체의 온도는 이 물체가 흡수하는 복사량과 방출하는 복사량의 크기에 따라 결정된다. 온도가 일정한 물체라면 이 물체가 흡수하는 복사량과 방출하는 복사량은 같다. 지구의 지표나 대기의 온도도 태양복사를 받고 지구복사를 방출하는 관계에서 온도가 결정된다.

어떤 흑체가 방출하는 복사 에너지는 그 흑체의 온도에 의해 결정된다는 법칙이 플랑크(Planck) 법칙이다. 그 흑체가 복사하는 에너지가 최대인 파장과 흑체의 온도와 관계는 빈(Wien)의 법칙에 따라 정해진다. 이 법칙은 빈의 실험에 의해 얻어진 경험 법칙인데 플랑크의 복사 법칙으로도 유도된다.

흑체의 단위면적에서 복사되는 에너지는 흑체의 온도 4승에 비례한다는 것을 슈테판이 실험을 통하여 밝혀냈고, 이를 볼츠만이 이론적으로 설명하여 이 관계를 슈테판-볼츠만(Stefan-Boltzmann) 법칙이라 한다. 이 법칙도 플랑크의 법칙으로부터 유도된다.

1. 키르히호프 법칙

복사율(ε)은 주어진 온도에서 물체가 복사할 수 있는 최대 복사량(I^*)에 대한 물체의 복사량(I)으로 다음과 같이 정의된다.

$$\varepsilon = \frac{I}{I^*}$$

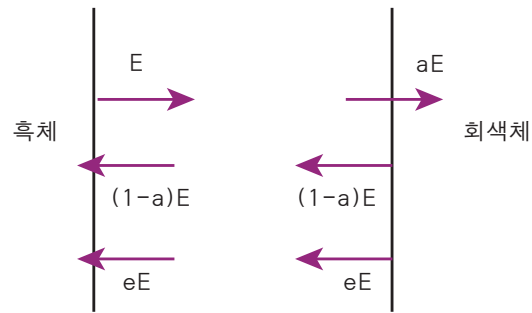
마찬가지로 흡수율(a)도 입사하는 복사량(J^*)에 대한 흡수량(J)으로 다음과 같이 정의된다.

$$a = \frac{J}{J^*}$$

여기서 I^* 와 J^* 는 물체가 흑체일 때의 복사율과 흡수율이다. 복사율과 흡수율은 흑체가 복사

하는 혹은 흡수하는 능력에 대하여 어떤 물체가 복사하거나 흡수하는 능력으로 그 값은 0과 1사이로 나타난다.

키르히호프 (Kirchhoff) 법칙은 어떤 물체의 복사하는 능력과 흡수하는 능력과의 관계를 나타내는 법칙이다. 복사율과 흡수율의 관계를 알아보기 위하여 다음 <그림 Ⅲ-6>과 같이 흑체와 흑체가 아닌 어떤 물체(회색체)가 마주 보고 있다고 가정하자. 이 물체의 흡수율과 복사율을 각각 a , e 라 하자.



<그림 Ⅲ-6> 흑체와 회색체 사이의 에너지 출입 관계

일정 시간이 지나면 두 판의 온도가 같아진다. 이때 흑체에서 방출하는 에너지를 E 라 하면 물체의 흡수율이 a 이므로 aE 만큼 흡수하고 나머지 $(1-a)E$ 는 반사한다. 그리고 이 물체가 방출하는 에너지는 복사율이 e 이므로 흑체가 방출하는 에너지 E 에 대하여 eE 만큼 에너지를 방출한다.

흑체가 받는 에너지는 물체가 반사한 에너지와 물체가 방출한 에너지의 합이 된다. 흑체는 받는 에너지를 모두 흡수하며, 받는 에너지만큼 방출해야 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\begin{aligned} E &= (1-a)E + eE \\ 1 &= 1-a+e \\ a &= e \end{aligned}$$

즉 물체의 흡수율과 복사율은 같다. 이를 키르히호프의 법칙이라 한다.

2. 간단한 열수지 모델

대기권 밖에 태양복사에 수직한 편평한 면이 있다고 하자. 이 물체의 흡수율이 0.9이고 태양 상수가 1380W/m^2 일 때 이 물체의 온도를 구해보자. 키르히호프의 법칙에 따라 이 물체의 복사율도 0.9이므로 온도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{흡수하는 에너지} &= \text{방출하는 에너지} \\ a \times 1380 &= e\sigma T^4 \end{aligned}$$

$$T = \left(\frac{1380}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} = 395\text{K}$$

그러나 키르히호프의 법칙은 복사 또는 흡수하는 전체 파장대에서 적용되는 것이 아니라 특정 파장대별로 적용된다. 특정 일부 파장대에서 복사를 가장 잘 흡수하는 물체는 그 파장대에서 가장 잘 복사하는 물체라는 것이다. 이 법칙은 지구의 복사평형을 계산할 때 지표와 대기에서 단파와 장파의 흡수와 복사를 계산할 때 각각에 대하여 고려해야 한다.

예를 들면 깨끗한 눈의 경우 가시광선과 적외선에 대한 흡수율은 각각 0.1과 0.8 정도이다. 복사율은 흡수율과 같으므로 같은 가시광선과 적외선대에서 복사율도 0.1과 0.8이 된다. 만약 눈덩이가 달 표면에 존재한다고 가정하고 이 눈덩이가 태양복사를 받고 있는 동안의 복사평형 온도(T_s)를 구해보자. 이 눈덩이는 가시광선을 흡수하고 적외선을 방출하므로 다음과 같이 구할 수 있다.

흡수하는 에너지 = 방출하는 에너지

$$0.1 \times I_E = 0.8 \sigma T_s^4$$

$$T_s = 235K$$

여기서 I_E 는 지구 대기 상층에 도달하는 태양복사 에너지로 $1380W/m^2$ 이다.

지구는 달과 달리 대기층이 존재하며 대기층에서는 장파복사를 흡수하고 방출한다. 대기를 하나의 층으로 고려하고 태양복사와 지구복사에 대한 흡수율이 각각 0.1과 0.8일 때, 대기와 지표의 온도를 구해보자. 지표는 흑체라고 가정하자.

〈그림 Ⅲ-7〉과 같이 지구의 반사율 0.3을 고려한 평균 태양상수를 E , 지표에서 방출하는 복사량과 대기에서 방출하는 복사량을 각각 x 와 y 라 하면, 지표에서의 복사평형관계로부터

$$0.9E + y = x$$

대기 상층에서의 복사평형관계로부터

$$0.2x + y = E$$

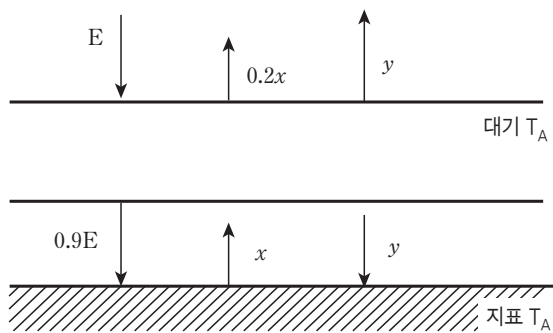
이 된다. 이 두 식으로부터 $x = 1.5E$, $y = 0.68E$ 이고 $E = 241W/m^2$ 이므로

$$\sigma T_s^4 = 1.5 \times 241 Wm^{-2}$$

$$0.8 \sigma T_A^4 = 0.68 \times 241 Wm^{-2}$$

위 식으로부터 지표와 대기의 온도는 각각 283K, 245K가 된다.

이 문제는 〈그림 Ⅲ-8〉과 같이 지구에 입사한 태양복사가 어떤 과정을 거쳐서 다시 우주로

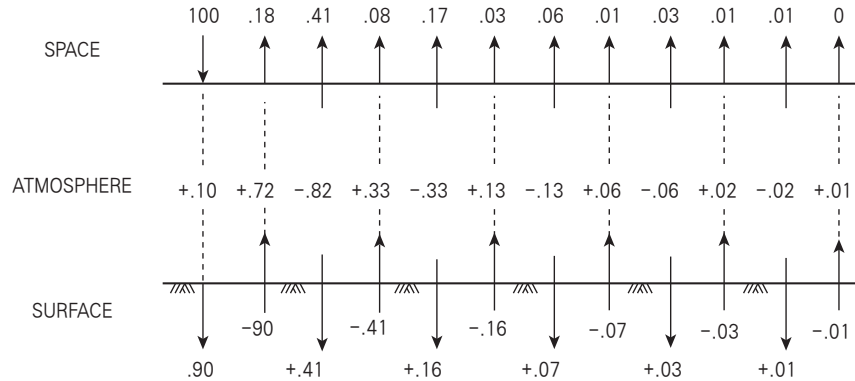


〈그림 Ⅲ-7〉 대기층이 존재할 때의 복사평형

방출되는지를 단계별로 계산하는 반복적인 방법을 통해서도 구할 수 있다. 대기 상층에 E만큼의 에너지가 입사하였다고 하자. 이 중 대기에서 0.1이 흡수되고, 나머지 0.9는 지표에 흡수된다. 복사평형에 따라 지표에서는 장파의 형태로 0.9를 방출하고, 이 에너지의 80%인 0.72가 대기에 흡수되고 나머지 20%인 0.18은 우주로 나간다.

결국 대기는 태양복사의 0.1과 지구복사의 0.72의 합인 0.82를 흡수하였고 이를 다시 우주와 지표로 각각 0.41씩 방출하여 평형을 유지한다. 지표로 입사된 0.41은 다시 방출되어 대기에 0.33이 흡수되고 나머지는 우주로 나간다.

대기에 흡수된 0.33은 다시 0.17씩 우주와 지표로 방출되고 지표에서는 0.17을 흡수하여 이를 다시 대기와 우주로 내보낸다. 이 과정은 <그림 Ⅲ-8>에서 볼 수 있듯이 대기에서 방출되는 양이 0이 될 때까지 계속된다.



<그림 Ⅲ-8> 대기층이 존재할 때 복사평형의 계산 과정

지표에서 방출하는 지구복사의 총합(x)과 대기에서 지표로 방출하는 지구복사의 총합(y)는 각각 다음과 같다.

$$x = (0.90 + 0.41 + 0.16 + 0.07 + \dots)E = 1.5E$$

$$y = (0.41 + 0.17 + 0.06 + \dots)E = 0.68E$$

물체의 색깔에 따른 흡수율과 복사율 구하기

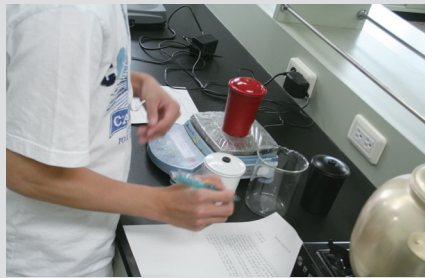
어떤 물체에 입사하는 복사 에너지는 같은 재질인 경우 그 물체의 표면 색깔에 따라 흡수하는 정도에 차이가 난다. 그럼 물체가 에너지를 복사할 때도 표면 색깔에 따라 달라질까? 이번 탐구활동을 통해 색깔에 에너지의 흡수가 어떤 차이를 보이는지 확인하고 이에 따른 에너지 흡수율을 먼저 구한 뒤, 색깔에 따른 복사율을 구하여 서로 비교해 보자.

이번 탐구 활동에서 흡수율과 복사율을 계산할 때 검은 색의 알루미늄 캔을 흑체라고 가정하고 계산한다. 각 색깔별 흡수율과 복사율은 검은 캔과 비교하여 구하도록 한다.

1. 흡수율과 복사율 구하기

1) 색깔에 따른 흡수율 구하기

- ① 4가지 색(검은 색, 흰색, 파란색, 빨간색)으로 칠해진 알루미늄 캔의 질량을 잰다.
- ② 각각의 캔에 같은 양의 물을 넣는다.
- ③ 온도계를 캔에 꽂고 전등까지의 거리가 같은 지점에 두고 전등을 켜다.
- ④ 일정시간 후 각 캔의 온도가 상승한 값과 물의 열용량, 알루미늄의 열용량을 이용하여 각 캔이 흡수한 에너지를 구한다.



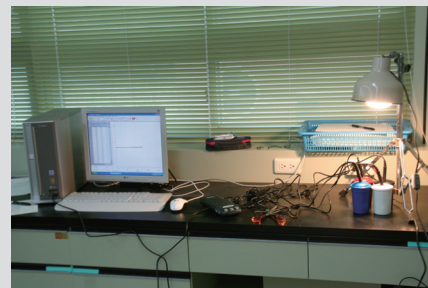
캔과 물의 질량을 재는 모습



캔에 온도센서를 꽂는 모습



전등으로부터 같은 거리에 설치된 캔



실험이 진행되는 전체적인 모습

2) 색깔에 따른 복사율 구하기

- ① 각 캔에 뜨거운 물을 붓는다.
- ② 뜨거운 물이 들어있는 캔의 무게를 잰다.

- ③ 온도계를 꽂고 일정시간 후에 온도가 떨어진 정도를 잰다.
- ④ 흡수율을 구할 때와 마찬가지로 열용량과 온도 변화를 이용하여 방출한 에너지를 구한다.



캔에 더운 물을 채운다.



에너지 방출로 온도가 떨어지는 캔

결과 및 토의

1) 색깔에 따른 흡수율

각 색깔에 따른 흡수율은 검은색 캔이 흡수한 에너지에 대한 각 색깔의 캔이 흡수한 에너지의 비로 구한다.

	검은색	흰색	빨간색	파란색
캔의 질량(g)				
물의 질량(g)				
총 열용량(cal/Kg)				
온도변화(K)				
흡수한 에너지(cal)				
흡수율	1			

2) 색깔에 따른 복사율

각 색깔에 따른 복사율은 검은색 캔이 방출한 에너지에 대한 각 색깔의 캔이 방출한 에너지의 비로 구한다.

	검은색	흰색	빨간색	파란색
캔의 질량(g)				
물의 질량(g)				
총 열용량(cal/kg)				
온도 변화(K)				
방출한 에너지(cal)				
복사율	1			

3) 색깔에 따른 흡수율과 복사율의 비교

	검은색	흰색	빨간색	파란색
흡수율	1			
복사율	1			

4. 색깔에 따른 흡수율과 복사율 사이에는 어떤 관계가 있는지 이야기해 보자.

5. 보다 좋은 실험 결과를 얻기 위하여 고려하여야 할 점은 무엇인지 이야기해 보자.



창의 탐구

건물을 지을 때 여름에는 외부의 에너지가 건물 안으로 들어오는 것을 최소화하고, 겨울에는 내부의 에너지가 건물 밖으로 나가는 것을 최소화하기 위해서는 건물의 외벽의 색을 어떤 색으로 칠하는 것이 좋은지 이야기해 보자.

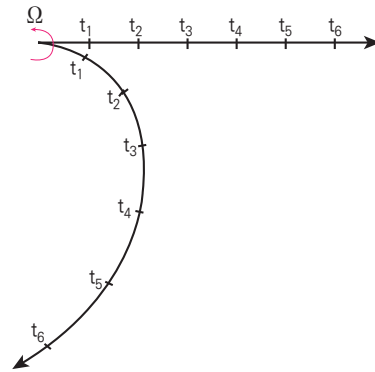
3

전향력

지구가 자전하기 때문에 산, 대륙, 바다 그리고 대기도 지구와 함께 자전한다. 따라서 대기와 해양의 운동은 지구와 함께 자전하는 회전 좌표계로 기술하면 간단하게 표현된다.

관성 좌표계에 대하여 관성 운동을 하는 물체를 회전 좌표계에서 관측한다면 <그림 Ⅲ-9>와 같이 그 경로가 휘어져 보일 것이다. 따라서 관성운동 중인 물체를 직선 경로로부터 전향시키는 겉보기 힘이 있다. <그림 Ⅲ-9>에서 나타나듯 운동 경로는 회전 좌표계의 회전 방향의 반대 방향으로 휘어져 나타난다. 이때 작용하는 힘이 전향력이다. 이 전향력에 대하여 동서 방향으로 움직이는 경우와 남북 방향으로 움직이는 경우에 대하여 어떻게 나타나는지 살펴보자.

회전 좌표계에서의 기준 축은 동서 방향과 남북 방향의 두 축을 사용한다. 동서방향의 경우 동쪽을 +로 서쪽을 -로 하며 거리와 속도는 각각 x 와 u 로 표현한다. 남북방향의 경우는 북쪽이 +이며, 거리와 속도는 y 와 v 로 표시한다.



<그림 Ⅲ-9> 관성 좌표계에서 본 관성 운동(직선)과 회전 좌표계에서 본 관성 운동(곡선)

1. 동서 방향으로 움직이는 경우

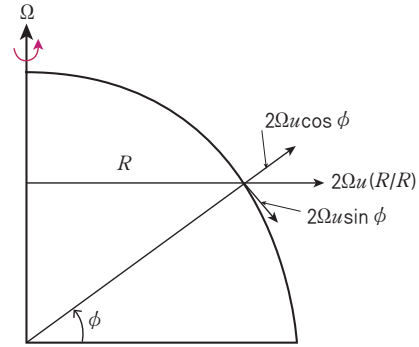
어떤 물체가 지구에 대하여 정지해 있다고 하자. 이 물체에는 만유인력과 지구자전에 의한 원심력이 작용하게 되고, 이 두 힘의 합력이 중력으로 작용한다. 만약 이 물체가 동쪽으로 움직인다면 이 물체는 지구보다 더 빠르게 회전하므로 원심력이 증가할 것이고 서쪽으로 움직인다면 원심력은 감소할 것이다. 이런 원심력의 변화로 전향력이 나타난다.

<그림 Ⅲ-10>과 같이 위도 ϕ 인 곳에서 동쪽으로 u 의 속도로 이동하는 물체의 총 원심력은 다음과 같다.

$$(\Omega + \frac{u}{R})^2 R = \Omega^2 R + 2\Omega u + \frac{u^2}{R}$$

여기서 Ω 는 지구자전각속도이고, R 은 지구 자전축까지의 거리이다.

위 식의 오른쪽 첫 번째 항은 이 물체가 지구와 함께 자전함으로써 생겨난 원심력이다. 나머지 두 항 모두 전향력이지만 대기나 해양의 운동에 있어서 $u \ll \Omega R$ 이기 때문에 마지막 항은 무시하고 두 번째 항만 고려한다. 전향력의 방향은 원심력의 방향과 마찬가지로 자전축의 수직 방향으로 작용한다. 이 전향력을 <그림 Ⅲ-10>과 같이 연직방향과 남북방향의 성분으로 각각 나눌 수 있다. 결국 동서방향의 운동은 남북방향과 연직방향으로 가속도를 일으키는데 그 각각은 다음과 같다.



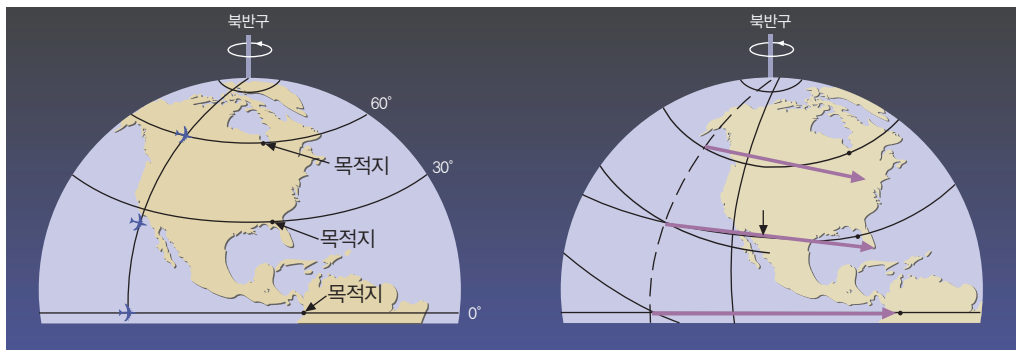
<그림 Ⅲ-10> 동서 방향으로 운동할 때 나타나는 전향력의 성분들

$$\left(\frac{du}{dt}\right)_{Co} = -2\Omega u \sin \phi, \quad \left(\frac{dw}{dt}\right)_{Co} = 2\Omega u \cos \phi$$

여기서 아래 첨자 Co는 전향력에 의해 생겨난 가속도를 의미한다.

북반구에서 동쪽으로 움직이는 물체는 전향력의 수평성분에 의해 남쪽으로 전향되고, 서쪽으로 움직이는 물체는 북쪽으로 전향된다. 어느 경우든 움직이는 방향의 오른쪽으로 전향된다. 전향력의 연직 성분에 의해서는 동쪽으로 움직이면 무게가 줄어들고 서쪽으로 움직이면 무게가 늘어난다. 그러나 이 힘은 만유인력에 비해 매우 작으므로 큰 변화는 일으키지 못한다.

<그림 Ⅲ-11>은 동쪽에 위치한 목적지를 향하여 직선으로 이동하는 비행기의 경로를 나타낸 것이다. 관성 좌표계에서 보면 비행기가 이동하는 동안 지구가 자전하기 때문에 비행기는 목적지보다 오른쪽을 향하게 되는데 회전 좌표계에서 보면 힘을 받아 오른쪽으로 편향한 것으로 나타난다.



<그림 Ⅲ-11> 동쪽으로 이동하는 비행기의 목적지와 이동 경로

2. 남북 방향으로 운동하는 경우

이번에는 물체가 남북방향으로 움직이는 물체의 전향력에 대하여 알아보자. 만약 어떤 물체가 적도 쪽으로 움직이는 경우, 각 운동량이 보존되어야 하므로 자전축까지의 거리 R 커짐에 따라 상대적으로 서쪽 방향의 속도 δu (서쪽 방향이므로 $\delta u < 0$ 임)가 생겨난다. 따라서 물체가 위도 ϕ_0 에서 $\phi_0 + \delta\phi$ 로 이동할 때(남쪽으로 움직이는 경우이므로 $\delta\phi < 0$ 임) 자전축까지의 거리 변화를 δR 라고 하면 각 운동량 보존에 의하여

$$\Omega R^2 = (\Omega + \frac{\delta u}{R + \delta R})(R + \delta R)^2$$

이 된다. 여기서 δu 는 물체가 위도 $\phi_0 + \delta\phi$ 로 이동하였을 때 동서방향으로 향하는 상대 속도이다.

위 식을 전개하여 2차 미분항을 무시하면

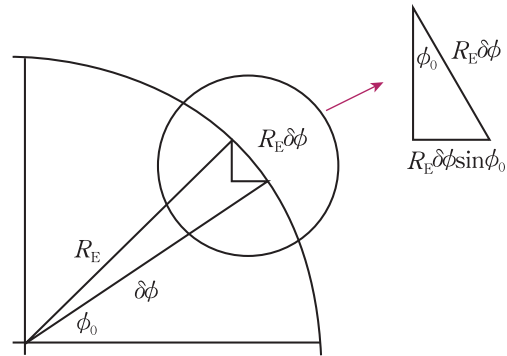
$$\delta u = -2\Omega\delta R = 2\Omega R_E \delta\phi \sin\phi_0$$

가 된다. 여기서 δR 은 <그림 III-12>와 같이

$$\delta R = -R_E \delta\phi \sin\phi_0$$

이다. 위 식에서 남북으로 움직이는 경우에는 동서방향으로의 속도변화 δu 가 생겨난다는 것을 알 수 있다.

δu 를 시간 변화인 δt 로 나누고 δt 를 0에 가깝도록 극한을 취하면 물체가 남북으로 움직였을 때의 가속도가 다음과 같이 구해진다.



<그림 III-12> 적도 쪽으로 움직이는 경우 R 의 변화

$$(\frac{du}{dt})_{Co} = 2\Omega R_E \frac{d\phi}{dt} \sin\phi_0 = 2\Omega v \sin\phi$$

위 식에서 v 가 +인 경우(북쪽으로 움직이는 경우), 왼쪽 항도 +로 나온다. 즉 동쪽으로 향하는 가속도가 생겨난다.

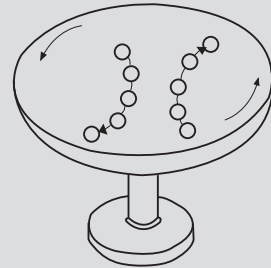
결국 지구상에서 수평 이동하는 물체는 북반구에서는 오른쪽으로 전향한다. 이는 지구가 자전하기 때문에 나타나는 현상으로 자전 주기와 비교하여 짧은 시간에 이루어지는 운동의 경우는 무시할 수 있다.

전향력 실험

지구의 자전 때문에 운동하는 물체는 그 방향을 바꾸는 전향력을 받는다. 이런 전향력은 움직이는 물체의 질량 및 운동 속도와 어떤 관계가 있는지 알아보자.

1. 탐구 과정

- 1) 아래 그림과 같이 흰 종이와 먹지를 원반의 크기로 만들어 원반 위에 흰 종이, 먹지 순으로 고정시킨다.
- 2) 회전 원반이 수평이 되도록 하여 회전 속도를 일정하게 유지하면서 회전시킨다. 여기서 회전 원반은 임의의 위도에 접하는 접평면을 나타낸다.
- 3) 원반 위에서 굴림대의 위치와 강철구슬의 운동 속도를 변화시키면서 원반의 바깥쪽에서 안쪽으로 강철구슬을 굴린 다음 백지에 나타난 구슬 자국을 관찰한다.
- 4) 원반의 안쪽에서 바깥쪽으로도 강철구슬을 굴린 다음 백지에 나타난 구슬 자국을 관찰한다.
- 5) 회전 원반의 회전 방향을 변화시키면서 강철구슬의 운동을 관찰한다.
- 6) 회전 원반의 속도를 변화시키면서 강철구슬의 운동을 관찰한다.



전향력 실험 장치

결과 및 토의

- 1) 흰 종이 위에 나타난 강철구슬의 궤적은 회전 원반의 회전 방향에 따라 굴림대가 놓여있는 방향에 대하여 어느 방향으로 구부러져 나타나는가?
- 2) 강철구슬의 운동 속도에 따라 강철구슬의 궤적은 어떻게 나타나는가?

3) 원반의 회전 방향을 바꾸면 강철구슬의 궤적은 어떻게 달라지는가?

4) 원반의 회전 속도에 따라 강철구슬의 궤적은 어떻게 나타나는가?

5) 43°N 에서 장거리 미사일이 수평속도 $1,000\text{ m/s}$ 로 $1,000\text{ km}$ 를 날아갔다면 이 미사일의 경로에 대하여 이야기해 보자.

6) 43°N 에서 직경이 4 cm 인 공 두 개가 100 m 거리에 놓여 있다. 이 두 공이 서로를 향하여 같은 속도로 출발할 때 서로 부딪치지 않고 지나치기 위한 최소한의 속도는 얼마인지 구해보자(단, 수평면은 마찰이 없다고 가정함).



창의 탐구

일정한 속도로 회전하고 있는 회전 원판 안에 굴림대를 놓고 강철구슬을 굴리는 경우와 굴림대를 회전 원판 밖에 놓고 굴리는 경우, 구슬의 궤적이 어떻게 달라지는지 이야기해 보자.

수적의 성장

구름은 물방울인데 왜 떨어지지 않는 것일까? 어떤 경우에 강수의 형태로 떨어지는 것일까? 이런 의문에 답하기 위하여 먼저 구름의 생성에 중요한 역할을 하는 빙정핵에 대하여 살펴보고, 구름 속의 물방울이나 빙정에 작용하는 힘들과 이들이 성장하는 과정에 대하여 생각해 보자. 그리고 구름의 물방울이 강수가 되어 떨어지는 과정도 살펴보기로 하자.

1. 응결핵

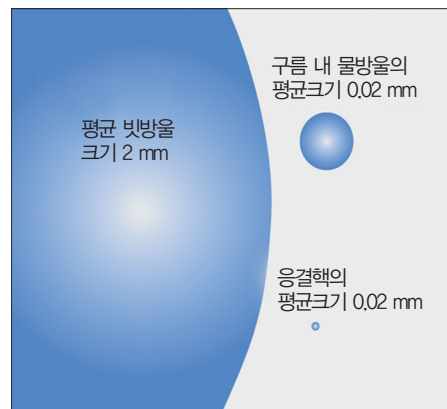
구름을 이루고 있는 물방울의 평균 크기는 직경 0.02 mm 정도이고, 전형적인 빗방울의 크기는 2 mm 정도이다. 강수현상이 발생하기 위해서는 구름 내의 물방울이 빗방울의 크기 만큼 성장해야 한다. 그러나 이보다 앞서 수증기가 응결하여 물방울이 생성되어야 하는데 이 과정에서 응결핵이 존재해야 한다. <그림 Ⅲ-13>은 응결핵과 구름 내의 물방울 및 빗방울의 상대적 크기를 나타낸 것이다.

구름은 대기 중에 떠 있는 작은 물방울 또는 작은 얼음결정들의 집합체를 말한다. 대기 중의 수증기가 응결될 때 구름이 형성되는데 이를 위해서 공기가 포화되어야 한다. 그러나 응결핵이 없다면 상대습도가 100%가 넘어도 응결이 일어나지 않는다. 그러므로 구름의 생성에 있어서 응결핵의 존재는 매우 중요하다.

구름의 생성에 있어서 응결핵이 필요한 이유를 살펴보자.

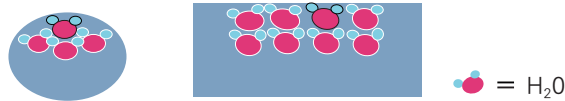
1) 곡률효과(curvature effect)

곡률이 큰(크기가 작은) 물방울이 곡률이 작은(크기가 큰) 물방울보다 증발이 잘 일어나는 현상을 곡률효과라 한다. <그림 Ⅲ-14>에서 볼 수 있듯이 곡률이 큰 물방울 표면에 있는 물 분자와 접하고 있는 물 분자의 수가 편평한 표면을 가진 수면 위에 있는 물 분자와 접하고 있는 물



<그림 Ⅲ-13> 응결핵과 구름 내의 물방울 및 빗방울의 상대적 크기

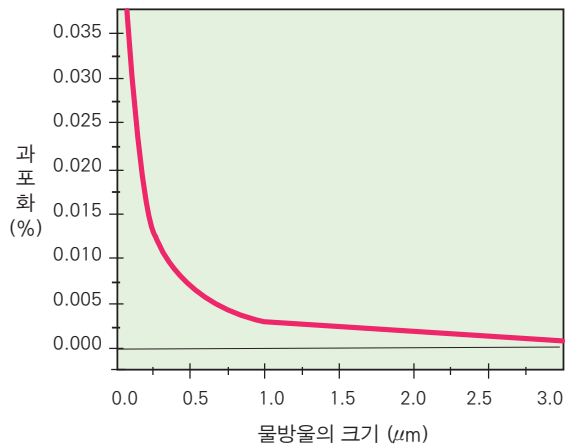
분자의 수보다 적다. 이로 인해 곡률이 큰 물방울의 표면에 존재하는 물 분자는 쉽게 증발하게 된다.



〈그림 Ⅲ-14〉 곡률에 따른 달라지는 물 분자의 배열

일정한 온도에서 물방울이 대기 중에 증발하지 않기 위해서는 주위 공기가 수증기로 포화되어야 하는데, 물방울이 작을수록 증발이 잘 되기 때문에 포화를 위해서는 더 많은 수증기가 존재해야 한다. 즉 상대습도가 더 높아야 포화가 된다. 〈그림 Ⅲ-15〉에서 보듯 순수한 물의 경우 물방울의 크기가 작을수록 포화가 되었을 때의 상대습도가 더 커지고 있다.

결국 구름 내에 큰 물방울과 작은 물방울이 공존하면 작은 물방울에 대하여 대기의 상태가 포화라면 큰 물방울에 대하여는 과포화 상태가 되기 때문에 큰 물방울은 커지면서 작은 물방울은 사라지게 된다. 실제 큰 물방울이 만들어지기 위해서는 작은 물방울이 먼저 형성되어야 하지만 곡률효과만 고려한다면 작은 물방울은 큰 물방울로 성장할 수 없게 된다.



〈그림 Ⅲ-15〉 물방울의 크기에 따른 수증기 포화 곡선

2) 용질효과(solute effect)

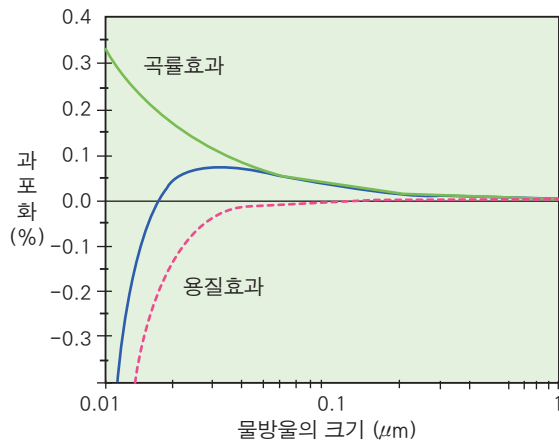
곡률효과 때문에 물방울이 성장하기 위해서는 상대습도가 100%보다 더 커야 한다. 그러나 실제 자연에서 상대습도가 100% 이상이 되는 경우는 거의 없다. 그러므로 물방울이 성장하기 위해서는 다른 요인이 있어야 되는데 이것이 바로 응결핵에 의해 생겨나는 용질효과이다.

대부분의 응결핵은 흡습성이 강하다. 대기 중에는 배습성 응결핵이 존재하지만 흡습성 응결핵에서 물방울이 성장하는 속도가 훨씬 크다. 흡습성 응결핵이 물에 녹게 된다면 물방울은 순수한 물이 아닌 용질이 된다. 일반적으로 화학물질이 녹은 물의 포화수증기압은 순수한 물의 포화수증기압보다 낮아지는 성질이 있다. 이런 현상을 용질효과라 한다. 이 용질효과 때문에 순수한 물에 대하여 포화인 공기는 응결핵이 녹은 물에는 대해서는 과포화가 되어 물방울은 성장할 수 있게 된다.

3) 곡률효과와 용질효과와 상호작용

구름 입자의 성장에는 곡률효과와 용질효과가 같이 작용한다. 곡률효과는 물방울의 성장을 억제하고 용질효과는 물방울의 성장을 촉진한다.

〈그림 Ⅲ-16〉에서 볼 수 있듯이 물방울의 크기가 매우 작은 경우에는 용질효과가 우세하게 작용하다가 어느 정도 성장하면 곡률효과가 우세하게 작용한다. 그러나 결국에는 곡률효과와 용질효과가 서로 상호작용하면서 상대습도 100%에서 포화가 일어난다.



〈그림 Ⅲ-16〉 곡률효과와 용질효과를 모두 고려하였을 때의 포화 상대습도(굵은 실선)

2. 구름 내 수적의 성장

구름 내의 물방울은 초기에는 가용 수증기가 많기 때문에 성장 속도가 빠르다. 수증기가 소비됨에 따라 물방울의 성장률은 떨어진다. 그 결과 응결만으로 물방울이 빙방울로 성장하는 데는 너무 많은 시간이 걸린다. 이 과정은 실제 강수현상이 나타나는 시간보다 더 느리게 진행된다. 그러므로 빙방울 성장을 설명하기 위해서는 다른 기작이 필요하다.

1) 빙정설

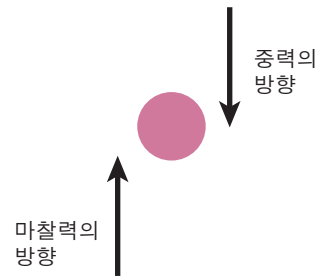
-10 ℃와 -20 ℃ 사이에 위치하는 구름 내에는 수증기, 과냉각 수적 그리고 빙정이 공존한다. 물 분자는 고체일 때 서로 결합력이 강하기 때문에 액체로 상태 변화가 될 때 많은 에너지를 필요로 한다. 그러므로 같은 온도에서 액체 상태인 물에 대한 포화수증기압이 고체 상태인 얼음에 대한 포화수증기압보다 높기 때문에 구름 내의 수적에 대하여 포화인 공기는 빙정에 대하여 과포화 상태가 될 수 있다. 이런 수증기압의 차이로 빙정은 성장하게 된다.

2) 병합설

구름방울에는 서로 방향이 반대되는 중력과 마찰력이 작용한다. 중력은 구름방울을 지표로 낙하시키려는 힘으로 물방울의 질량에 중력가속도를 곱한 값과 같다. 그러므로 이 힘은 물방울의 부피에 비례한다. 구름방울은 또한 낙하하면서 공기저항 즉 마찰력을 받는다. 마찰력의 크기는 낙하하는 물방울의 밀면적과 접촉하는 공기의 면적 즉 물방울의 단면적에 비례한다.

구름방울은 낙하하면서 속도가 증가함에 따라 더 많은 공기 분자와 접촉하게 된다. 이로 인

해 마찰력이 증가하다가 중력과 평형을 이루게 되면 더 이상 가속되지 않고 일정한 속도로 떨어진다. 이때의 속도를 종단 속도(terminal velocity)라 한다. 구름방울의 크기가 커질수록 중력이 커지기 때문에 종단속도가 커진다. 구름은 다양한 크기의 구름방울로 구성되어 있어 구름 내에서의 종단속도의 차이로 구름방울은 충돌하여 병합하게 된다.



〈그림 Ⅲ-17〉 중력과 공기의 마찰력으로 나타나는 종단속도

탐 구 활동

수적의 성장

앞에서 설명하였듯이 구름 내의 물방울은 곡률효과와 용질효과와 상호작용으로 성장하다가 빙정설이나 병합설을 통해 최종적인 빗방울로 성장하게 된다.

- 1) 〈그림 Ⅲ-13〉을 참고하여 하나의 빗방울이 만들어지기 위해서 몇 개의 구름방울이 모여야 되는지 이야기해 보자.
- 2) 물은 물 분자의 응집력에 의해서 표면적을 최소화하기 때문에 물방울의 모양은 구형을 이룬다. 반지름이 r 인 구형의 물방울이 성장하여 반지름이 Δr 만큼 더 늘었다고 하자. 이때 이 물방울의 부피의 증가에 따른 표면적의 증가비를 구해보자(단, 2차항 이상은 근사적으로 무시한다).
- 3) 위에서 구한 증가비를 이용하여 물방울의 크기에 따라 물방울의 성장 속도가 어떻게 달라질 수 있는지 설명해 보자.
- 4) 빙정핵이 곡률효과에 어떤 영향을 주는지 이야기해 보자.



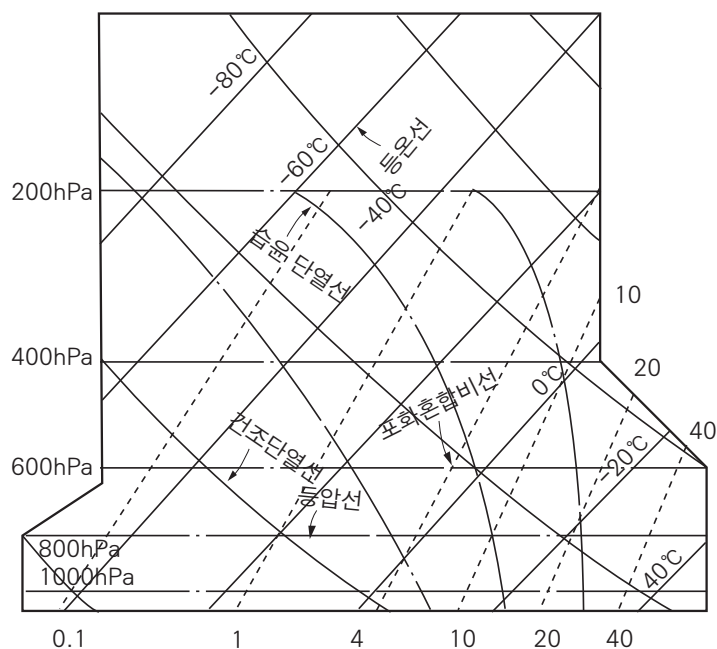
창의 탐구

구름방울이 성장함에 따라 중력과 마찰력 중 어느 힘이 더 빠르게 증가하겠는지 이야기해 보자.

5

대기의 안정도와 단열선도

1930년대부터 고층기상관측이 실시되면서 대기를 입체적으로 파악하게 되었다. 고층기상관측 자료를 신속하게 정리·분석하여 한 관측 지점의 연직방향 열역학적 특성을 파악하는데 단열선도가 이용되고 있다. 단열선도는 복잡한 수식으로 계산해야 하는 기상 현상이나 기상요소를 간단히 구할 수 있도록 고안된 도표이다. 단열선도에는 여러 종류가 있으나 어느 것이나 건조 단열선, 습윤 단열선, 포화 혼합비선, 등온선, 등압선의 5선이 그려져 있다. 온도와 기압이 기울어져 Skew T-log P diagram라는 명명된 단열선도<그림 Ⅲ-18>이 가장 많이 쓰이고 있다.



〈그림 Ⅲ-18〉 단열선도의 구성 선들

단열선도에서 구할 수 있는 기상요소들은 다음과 같다.

- ① 혼합비 : 건조공기 1 kg 속에 혼합된 수증기의 질량(g)으로 Skew T-log P diagram에서 는 알고자 하는 고도의 이슬점 온도를 지나는 포화혼합비선의 값을 읽으면 된다.

② 상대습도 : $R.H(\%) = \frac{\text{실제 혼합비}}{\text{포화 혼합비}} \times 100$ 이므로 Skew T-log P diagram에서는

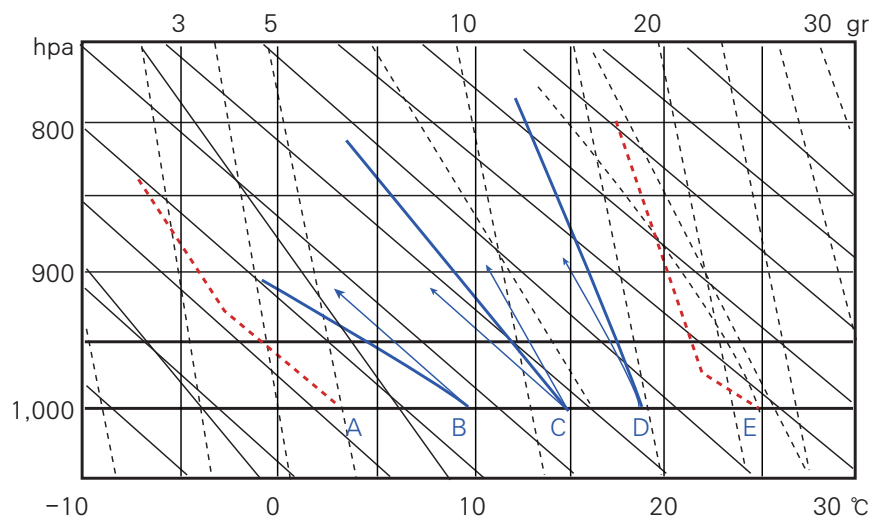
$$R.H(\%) = \frac{\text{이슬점 온도에 해당하는 혼합비}}{\text{기온에 해당하는 혼합비}} \text{ 이 된다.}$$

③ 상승응결고도(LCL, Lifting Condensation Level) : 온도점에서 건조 단열선을 따라 올라간 선과 이슬점에서 포화 혼합비선을 따라 올라간 선이 만나는 점의 고도이다.

④ 대류응결고도(CCL, Convection Condensation Level) : 상승응결고도에서 포화 혼합비선을 따라 올라간 선과 기온 곡선이 만나는 점의 고도이다.

1. 단열선도 사용 실례

예를 들어 기압이 1000 hPa, 기온 3 °C, 상대습도 70%인 공기덩어리(A점)가 위로 상승한다고 가정하자. 기온 3 °C에서의 포화혼합비를 그림에서 구하면 5 g이므로 이 공기의 혼합비는 그 70%인 3.5 g이다. 이 값은 공기 중의 수증기가 응결되어 줄어 들거나 또는 외부로부터 공급되지 않는 한 변하지 않는다. 이 공기덩어리가 상승으로 올라가면 단열적으로 변화하므로 단열선도의 건조 단열선을 따라 기압이 내려간다. 그리고 925 hPa 부근에서 3.5 g의 혼합비선과 만난다. 이것은 이 공기덩어리의 상대습도가 점차 증가하여 여기서 100% 즉, 포화에 도달된다는 것을 의미한다. 따라서 그 이상의 고도로 올라가면 공기덩어리 중의 수증기가 응결하면서 변화하게 되므로 기온이 습윤 단열선을 따라 변해간다. 수증기가 응결하기 시작하는 이 고도를 응결고도 또는 구름이 생성되는 높이이므로 운저고도(雲底高度), 운고라 한다. 이 예에서 응결고도는 925 hPa 고도이며 대략 지상 750 m 정도가 된다.



〈그림 Ⅲ-19〉 단열선도 이용 실례

2. 단열선도를 이용한 대기 안정도 분석

단열선도를 이용하면 대기층의 안정 상태를 쉽게 파악할 수 있다. 고층관측 결과를 단열선도에 기입했을 때 대기의 온도가 <그림 Ⅲ-19>의 굵은 선 B와 같이 변하였다고 하자. 지상의 공기덩어리를 상층으로 가지고 올라갔을 때의 상황을 조사해 보면, 그림에서 파선과 같이 되므로 이 공기덩어리의 기온은 주위 공기의 기온보다 높아져 밀도가 작아지므로 부력을 받아 계속 상승하려 한다. 그래서 이런 상태의 대기성층을 불안정이라 한다. 이런 때는 대류가 일어난다. 여기서 알 수 있는 것처럼 대기의 실제 기온감률이 100 m당 1 °C 이상이면 그 기층은 불안정하다는 것을 알 수 있으며, 특히 이 경우를 절대 불안정이라 한다.

대기의 온도 변화가 <그림 Ⅲ-19>에서 굵은 선 C와 같았다고 할 경우에는, 그 기층의 공기가 포화되지 않고 건조하다면 건조 단열선을 따라 변하므로 상공으로 올라가면서 밀도가 본래의 대기 밀도보다 커지므로 안정하게 된다. 그런데 공기가 포화되어 있으면 습윤 단열선을 따라 변하므로 상공에 올라가 주위 공기보다 기온이 높아져 불안정해진다. 이상으로 보면 수증기 함유량에 따라 안정하기도 하고 불안정하기도 한다. 이것을 조건부 불안정이라 한다.

<그림 Ⅲ-19>에서 D와 같은 경우에는 공기가 건조한 경우나 습윤한 경우에 관계 없이 위로 올라간 공기덩어리는 주위 공기보다 기온이 낮아 안정적이다. 이것을 기온감률로 표현하면 실제 기온감률이 습윤단열변화 할 때보다 작은 경우로서 대기의 기온감률이 100 m당 0.5 °C 미만인 경우이다. 이를 절대 안정이라 한다.

만일 실제 기온의 고도변화가 100 m 당 1 °C라면 공기덩어리가 건조단열 변화하면서 상승해도 주위와의 기온차가 생기지 않는다. 또 기온의 고도변화가 습윤 단열선을 따르는 상태에서는 포화된 공기덩어리는 상승해도 주위와의 기온차가 없다. 즉, 안정도 불안정도 아닌 중립 상태가 된다.

<그림 Ⅲ-19>의 E의 경우는 파선을 따라 변화한다. 따라서 이 경우 885hPa이하에서는 안정이나 그 이상 끌어올리면 주위보다 기온이 높아져 불안정이 된다. 즉 요란이 작으면 안정 상태를 유지하지만, 요란이 크면 불안정하게 된다. 이러한 상태를 잠재 불안정이라 한다.

단열선도를 이용한 대기 분석

단열선도 중에서 가장 널리 이용되고 있는 Skew T-log P diagram 상에 실제 관측 자료를 표시하여 여러 가지 기상현상을 구해보고, 이를 통해 대기를 입체적으로 분석해 보자.

1. 다음 표는 고층기상 관측 자료이다.

기압(hPa)	기온(°C)	이슬점 온도	혼합비(g/kg)	포화혼합비	상대습도(%)
1000	25	14			
900	18	6			
800	8	-1			
700	3	-12			
600	0	-10			
500	-13	-15			
400	-16	-40			

(1) 단열선도에 관측된 기온과 이슬점을 표시하고 위의 표를 완성해 보자.

(2) 각 대기층의 안정도를 구해보자.

기층 (hPa)	안정도
1000 ~ 900	
900 ~ 800	
800 ~ 700	
700 ~ 600	
600 ~ 500	
500 ~ 400	

(3) 000hPa부근 공기가 강제 상승하였을 때 구름이 만들어지는 높이인 상승응결고도(LCL, Lifting Condensation Level)와 이 공기가 스스로 상승할 수 있는 고도인 자유대류고도(LFC, Level of Free Convection)를 구해보자.

(4) 위의 공기가 자유대류고도를 지나 스스로 상승할 때 구름은 어느 높이까지 존재하겠는가?

2. 기온이 25 °C이고 이슬점 온도가 20 °C인 공기 덩어리가 1000 hPa면으로부터 상승하여 2000 m의 산을 넘고 다시 1000 hPa면에 도달하였다.

(1) 산을 넘는 동안의 공기덩어리의 단열과정을 단열도상에 표시해 보자.

(2) 산 정상에 도달했을 때의 공기의 온도는?

(3) 산을 넘어 다시 지면으로 되돌아 왔을 때의 이 공기의 습도는?

(4) 처음과 나중의 온도와 습도를 비교하고 그 이유를 설명하라.



창의 탐구

날씨에 따라서 자유대류고도의 높이는 어떻게 변할지 생각해 보자.

6

일기도 작성

일기도(지상 일기도)는 어느 지역 내의 일기 개황을 한 눈에 보아서 알 수 있도록 각종 기상요소(기압, 습도, 기온, 이슬점, 운량, 풍향, 풍속 등)를 나타낸 것으로 이것을 이용하여 각 지역의 일기를 알 수 있으며, 연속된 일기도를 통해 앞으로의 일기를 예상할 수 있다.

일기도에 관측된 자료를 나타낼 때에는 <그림 Ⅲ-20>과 같이 정해진 일정한 형식으로 기입해야 한다.

기압이 끝나면 일기도 상에서 기압, 기온 또는 필요한 기상요소들에 대하여 값이 같은 점을 연결하여 선을 긋는다. 일기도에서 가장 중요하게 다루는 선이 등압선이다. 등압선은 기압이 같은 지점을 연결한 선이다. 등압선을 그려보면 고기압과 저기압의 위치, 전선 등을 가려 낼 수 있다. 이것은 마치 지도에 그려진 등고선의 분포모양을 보고 산이나 골짜기를 판별하는 것과 유사하다. 등압선을 그리는 방법은 다음과 같다.

- ① 주어진 일기도에 기입된 각종 자료 중 구름의 양, 풍향, 풍속, 기압 등의 의미를 파악한다.
기압은 자연 상태에서 보통 1060 hPa을 넘지 않으므로, 첫자리 수가 0에서 5사이이면 10을, 6에서 9사이이면 9를 각각 앞에 붙여 계산한다.
- ② 일반적으로 등압선은 1000 hPa을 기준으로, 992, 996, 1000, 1004, 1008, 등 4 hPa 간격으로 그린다. 그러나 등압선 간의 폭이 너무 넓어 기압배치를 파악하기 어려울 때는 2 hPa 간격으로 파선을 그린다.
- ③ 그리기 쉬운 곳(등압선이 조밀하지 않은 곳)부터 그려 나간다.
- ④ 등압선은 중간에서 끊어지거나 없어지지 않는다.
- ⑤ 관측값이 없는 경우는 내삽, 또는 외삽법의 원리로 <그림 Ⅲ-21>과 같이 이웃하는 두 지

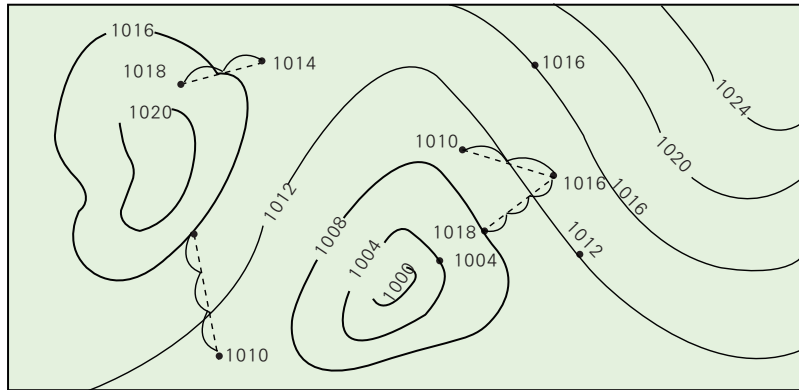
초상 최저 온도	최고 기온 최저 기온	상층 운형	지면 상태 적설 깊이	
	기온	중층 운형	기압	
시정	현재 일기	전 운량	기압 변화량	기압 변화 경향
	이슬점 온도	하층 운형 운량, 운고	과거 일기	
	해수 표면 온도	파랑의 주기, 파고	강수량	
너울				

<그림 Ⅲ-20> 일기도 기입 형식

점의 간격을 비례로 나누어서 부드럽고 매끈한 곡선으로 그린다.

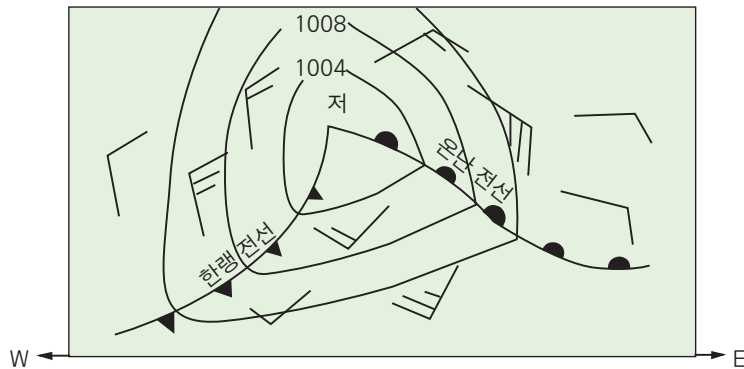
- ⑥ 한 선으로 연결되는 등압선은 양쪽 끝에 기압의 값을 기입하고, 폐곡선의 경우는 위쪽(북쪽) 중앙에 등압선을 끊고 값을 기입한다. 저기압의 중심은 적색으로 L(low pressure), 고기압의 중심은 청색으로 H(high pressure)라고 표시한다.

일기도가 그려지면 고기압과 저기압의 위치 및 이동경로, 기압과 고도의 변화경향, 전선의 발생 및 소멸과 이동, 날씨변화, 대기의 수직구조 등을 세밀히 분석하게 된다. 전선의 위치를 찾는 방법은 다음과 같다.



〈그림 Ⅲ-21〉 등압선의 작도 방법

- ① 전선은 기온, 이슬점, 풍향이 불연속을 이루므로 이들 값이 급변하는 지역을 찾는다.
- ② 전선 상에서는 일반적으로 일기가 악화되므로 강수 등 나쁜 일기가 선상으로 나타날 경우 전선이 존재할 가능성이 높다. 온난전선은 전면의 넓은 지역에서 강수 현상이 나타나고 후면에는 비교적 맑은 날씨를 이룬다. 한랭전선은 전면과 후면의 구별 없이 전선 상에서 비교적 좁은 지역에 강수 현상이 나타난다.
- ③ 전선이 확인되면 〈그림 Ⅲ-22〉와 같이 등압선이 휘도록 연결한다.

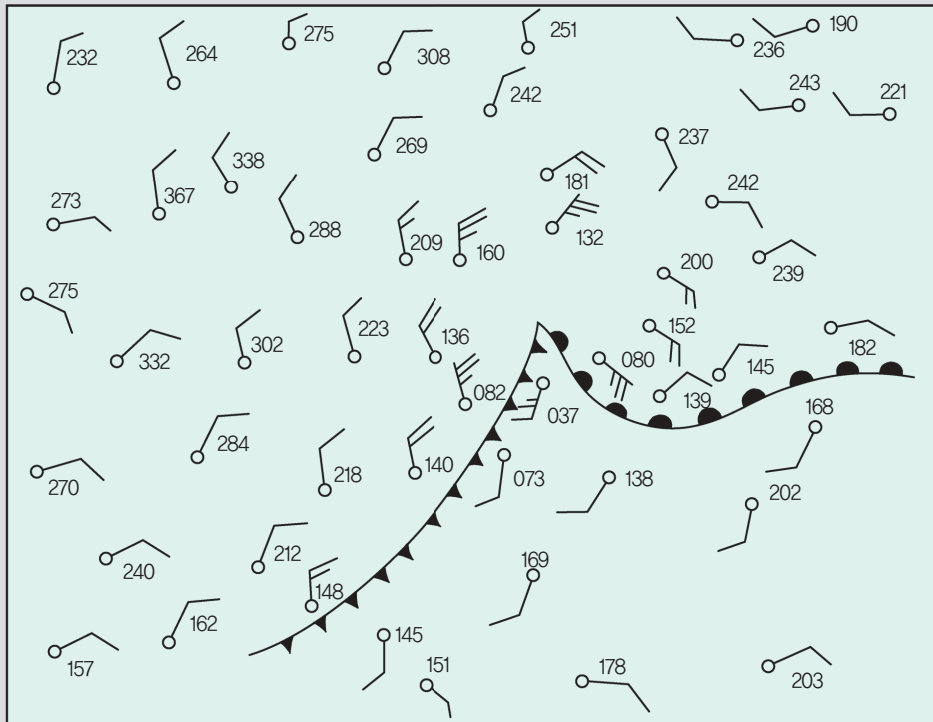


〈그림 Ⅲ-22〉 전선에서의 등압선

일기도 그리기

여러 가지 기상요소 중 간단한 등압선을 그리고 고·저기압의 위치 및 전선을 찾아 일기도를 완성해 보자.

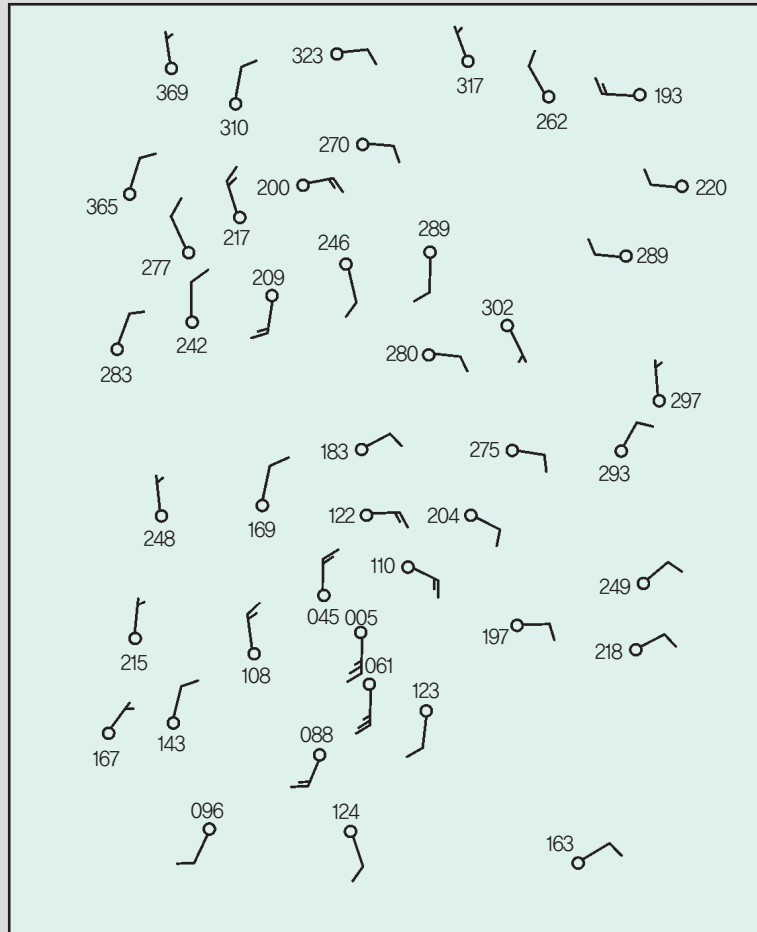
1. 다음 일기도에 등압선을 그려 보자.



(1) 그려진 일기도에 고기압과 저기압을 표시해 보자.

(2) 등압선과 풍향이 이루는 방향은 어떠한가?

2. 전선의 위치를 잘 파악하여 다음의 일기도를 그려보자.



(1) 전선의 위치에 따라 풍향이 어떻게 달라지는가?

(2) 강수구역의 예상되는 지역을 표시해 보자.

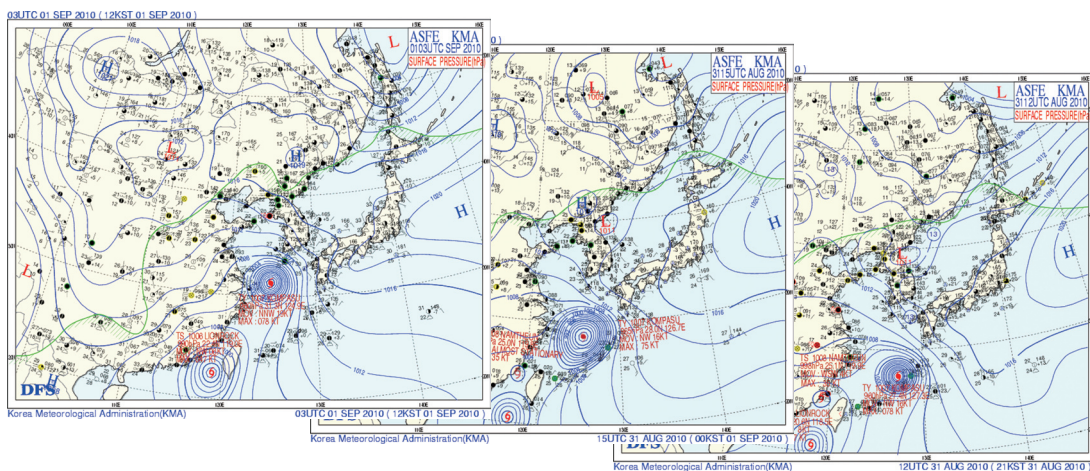
(3) 바람이 가장 강한 곳은 어디인지 표시해 보자.

7

일기도 분석

기온, 강수 유무 등의 매일의 일기는 산업과 일상생활에 많은 영향을 미친다. 따라서 오랜 세월 동안 일기를 정확히 예측하고자 많은 노력을 기울여 왔다. 아직도 많은 한계를 안고 있으나 날씨의 갑자기 변하는 것이 아니고 과거로부터 연속성을 가지고 변화하므로 과거와 현재의 일기상태를 분석함으로써 미래의 일기를 어느 정도 예측할 수 있으며 보다 정확한 예측을 위하여 노력을 계속하고 있는 실정이다.

일기의 분포는 일반적으로 기압배치에 대응되므로 기압배치를 예상할 수 있으면 일기예보가 어느 정도 가능하다. 고기압, 저기압의 기압계는 지속성을 가지고 있고, 우리나라 주변에서는 서에서 동으로 이동하므로 이를 이용하여 앞으로의 기압배치를 예측하고 날씨를 예상할 수 있다. 고기압이 있는 지역의 지상일기는 하강 기류로 인해 구름이 소멸되어 맑은 날씨를 나타낸다. 반면 저기압지역에서는 내부의 상승기류로 인해 구름이 만들어지고 비가 내리게 되어 흐린 날씨가 된다. 저기압은 전선을 동반하는 경우도 있는데 전선은 성질이 다른 두 기단의 경계를 이루는 상대적으로 좁은 영역을 이루므로 이 영역을 기준으로 온도나 바람 등이 급변할 뿐 아니라 일반적으로 일기가 악화되어 강수 현상 등이 나타난다.



〈그림 Ⅲ-23〉 2010년 8월에 우리나라로 접근한 태풍 곤파스의 이동 경로

실제로 일기도가 완성되면 예보관은 이를 다각적으로 분석한다. 일기도의 분석은 고기압과 저기압의 위치 및 이동경로, 기압과 고도의 변화경향, 전선의 발생 및 소멸과 이동 추적, 날씨 변화, 대기의 연직구조 등을 세밀히 분석한다. 또한 특수기상 관측 자료인 기상레이더에 의한 강수구역 추적, 기상위성에 의한 구름사진 분석, 자동기상관측자료(AWS) 등을 분석하여 앞으로의 날씨변화를 예상하게 된다. 또한 최근에는 컴퓨터를 활용하여 짧은 시간에 많은 기상자료를 처리할 수 있게 됨으로써 수치분석자료와 각종 보조일기도들을 이용할 수 있게 되어 정확한 날씨를 판단하는데 많은 도움을 주고 있다.

탐 구 활동

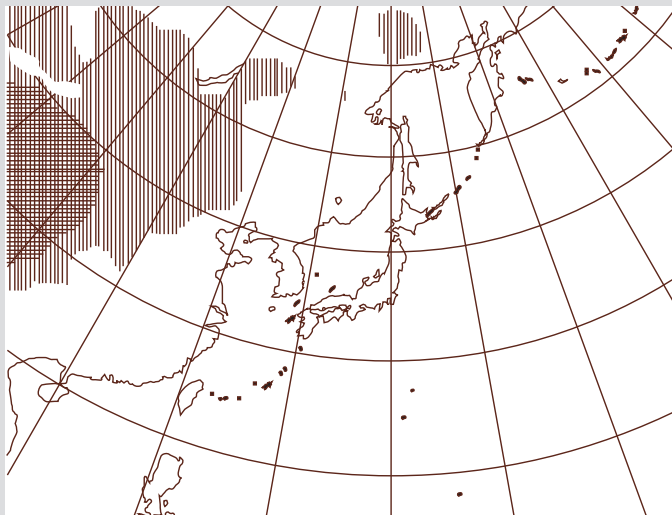
! 준비물 ! 연필, 자, 지우개, 색연필

예상 일기도 그리기

연속적인 몇 장의 일기도를 분석하여 앞으로 전개될 대기 상태를 예측하여 예상 일기도를 그려 보자.

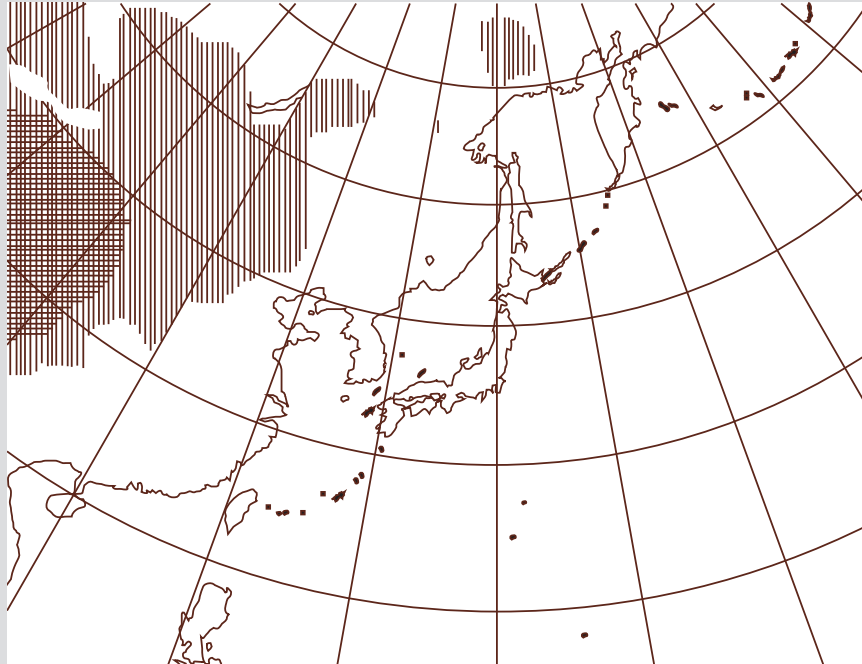
1. <그림 1>~<그림 4>는 2007년 7월 1일 6시부터 2일 18시까지 12시간 간격으로 연속 4회 동안 관측하여 작성한 지상일기도이다.

(1) 일기도 상에 나타난 전선을 다음 그림에 그려 넣고, 전선이 어느 방향으로 얼마나 이동했으며 평균 이동 속도는 얼마인지 다음 표를 작성하라. (단, 경도 1°의 거리는 위도 30°에서 96.5 km, 위도 40°에서 85.4 km, 위도 50°에서 71.7 km이다. 위도 1°사이의 거리는 약 110 km이다.)



처음 위치	나중 위치	이동방향	이동거리(km)	이동시간(h)	이동속도(km/h)
위도: 경도:	위도: 경도:				

(2) 7월 3일 6시에는 기압계가 어떻게 달라졌을지 예상하여 다음 그림에 예상 일기도를 그려 보자.



(3) 다음 표는 기상청에서 발표한 7월 1일과 2일의 예보 통보문이다. 그린 예상 일기도를 바탕으로 예보 통보문을 작성해 보자.

일시	예보 통보문
7월 1일	동해상에 위치한 고기압 가장자리에 들겠습니다. 전국이 대체로 구름 많고, 경상북도 지방은 새벽까지, 전라남북도 지방에서 아침까지 소나기(강수확률 60%)가 오는 곳이 있겠고, 오후에는 대기불안정으로 남부 내륙지방을 중심으로 산발적으로 소나기(강수확률 60%)가 오는 곳이 있겠습니다.
7월 2일	서쪽에서 접근하는 장마전선의 영향을 점차 받겠습니다. 전국이 대체로 흐리고 새벽에 중부서해안지방부터 비(강수확률 60~90%)가 시작되어 밤에는 전국으로 확대하겠습니다.
7월 3일	

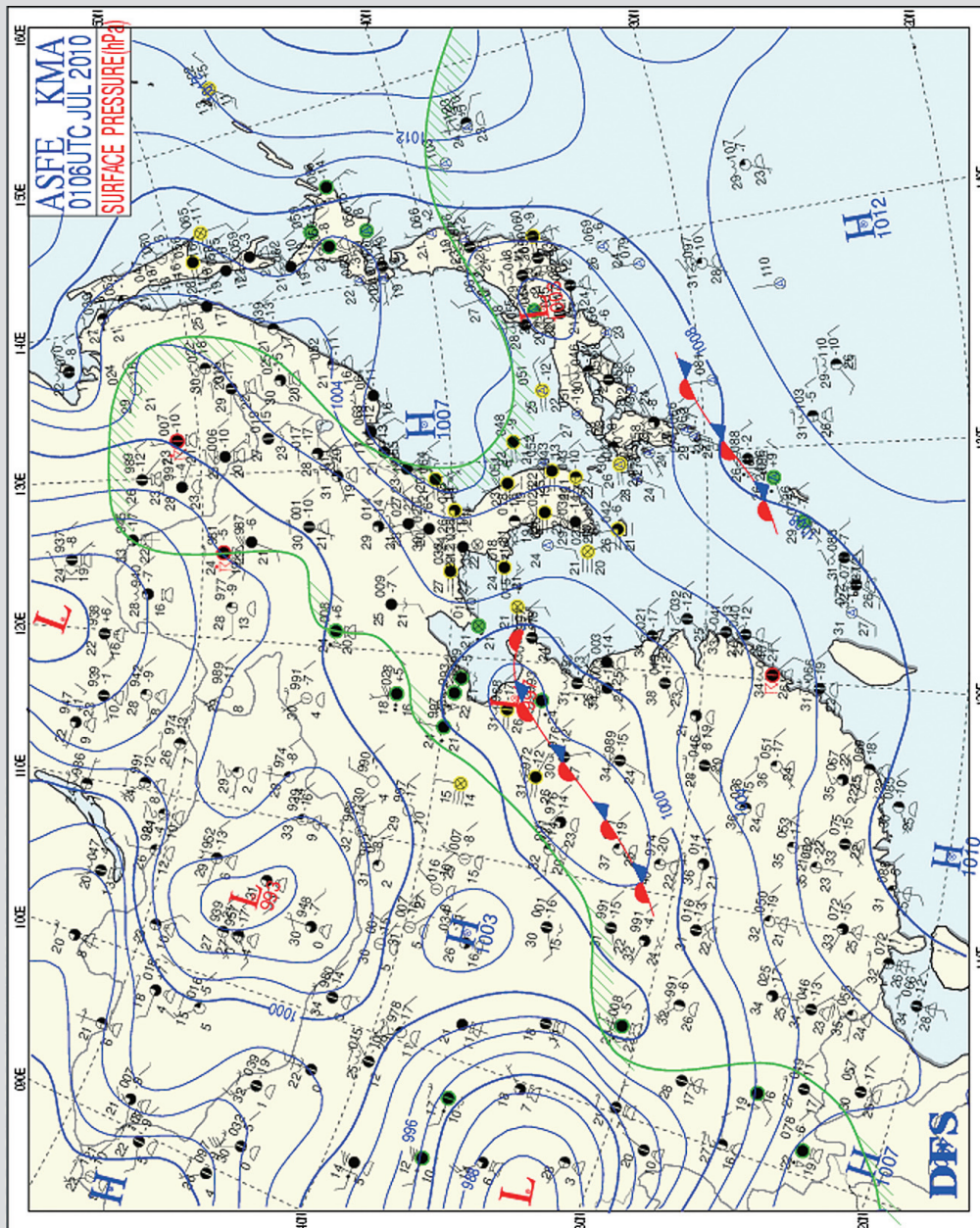


그림 1 2010년 7월 1일 06시 우리나라 부근 일기도

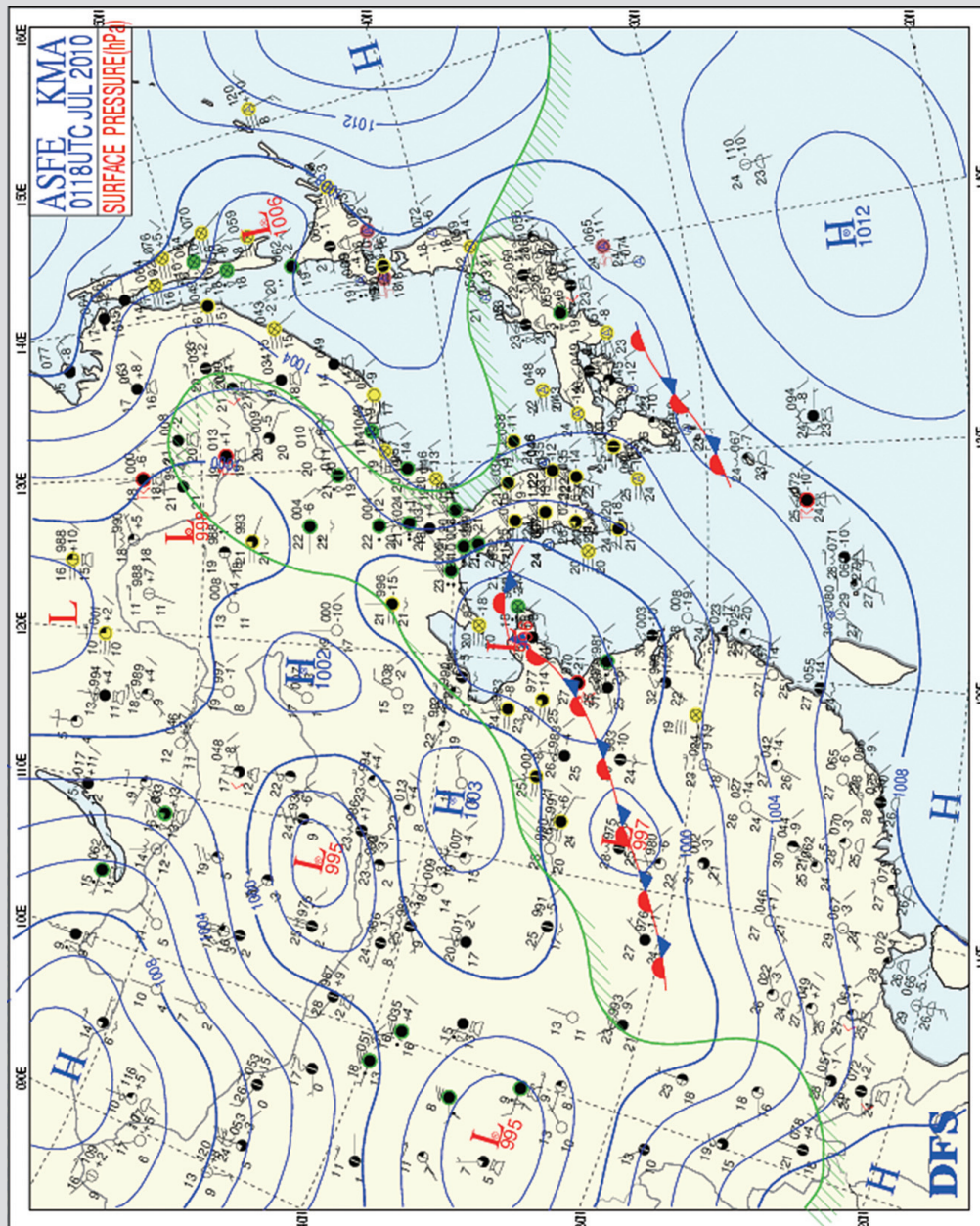


그림 2 2010년 7월 1일 18시 우리나라 부근 일기도

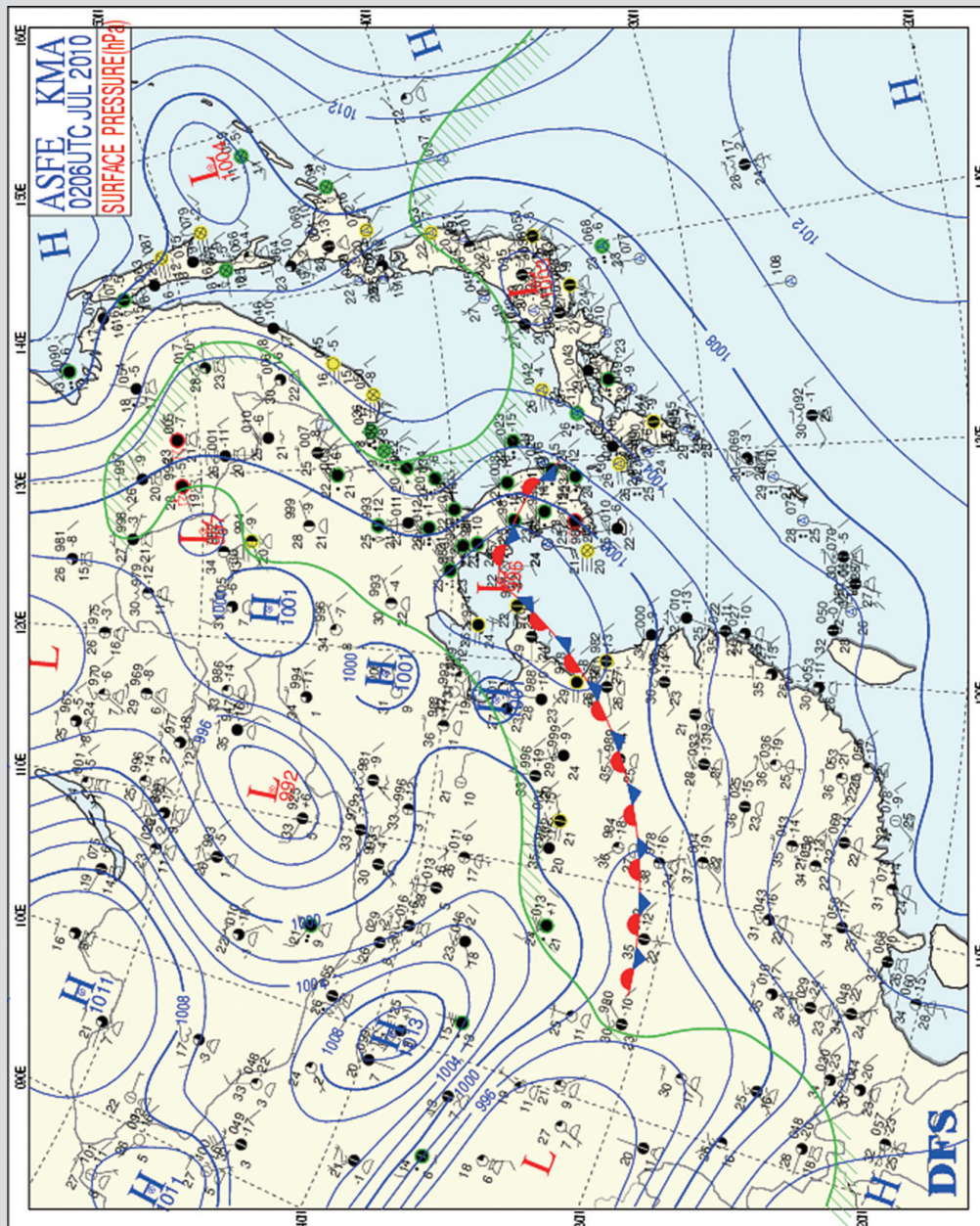


그림 3 2010년 7월 2일 06시 우리나라 부근 일기도

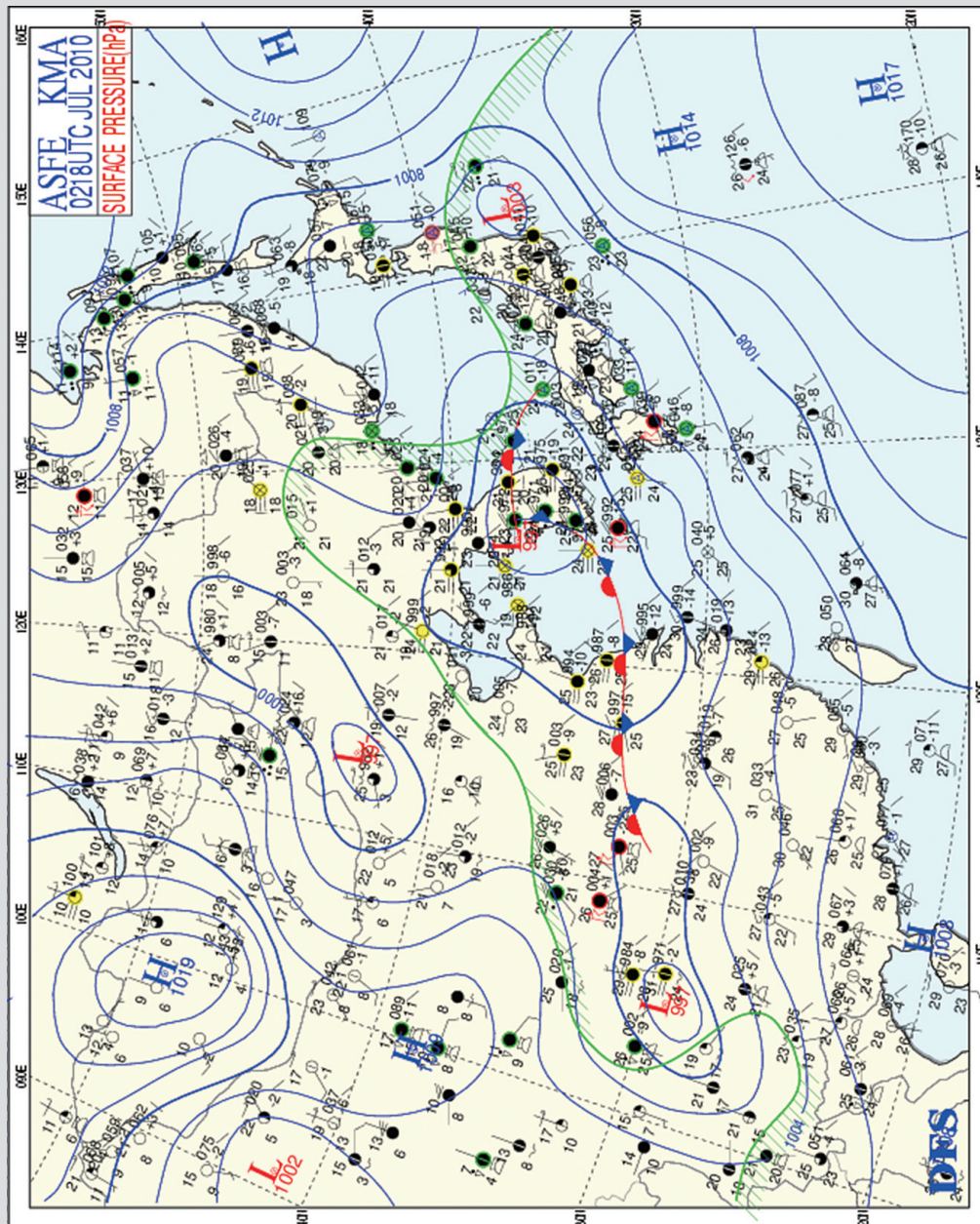


그림 4 2010년 7월 2일 18시 우리나라 부근 일기도

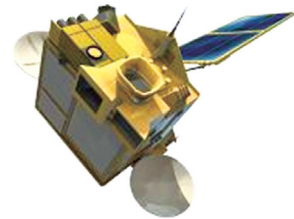
8

기상 위성 영상 분석

기상 위성이란 지구 대기권 밖에서 지구표면과 대기로부터 반사되는 태양복사 및 지구에서 방출되는 지구복사를 위성에 탑재된 기기로 측정하여 지구의 여러 기상상태를 관측하는 시스템을 말한다. 기상 위성을 이용하면 접근이 어려워 정구적 관측이 거의 불가능한 지역- 극지방, 열대우림, 사막, 바다 등-을 균일하게 관측하여 기상정보를 실시간으로 알아낼 수 있는 장점이 있는 반면 처리과정이 복잡하고 수신 및 처리를 위한 장비가 필요하다는 단점이 있다.

1960년 미국에서 TIROS-1 기상 위성을 발사한 후 현재 GOES(미국), MTSAT(일본) 등 다양한 기상 위성이 기상관측을 하고 있다. 2010년 6월 우리나라에서도 최초의 통신해양기상 위성인 COMS(Communication, Ocean and Meteorological Satellite)를 발사함으로써 세계 7번째 기상관측 보유국이 되었다.

위성 영상에는 대기에 의한 흡수율이 적은 파장대를 이용하는데 파장대에 따라 가시 영상, 적외 영상, 단적외 영상 등으로 나눈다.



〈그림 Ⅲ-24〉 COMS의 모습

1. 가시 영상

가시 영상은 태양광의 반사강도를 나타낸 것으로 반사도가 높은 곳은 밝게, 낮은 곳은 어둡게 영상화된다. 가시 영상은 우리가 눈으로 보는 것과 같은 영상을 제공하기 때문에 태양광이 있는 주간에만 영상을 얻을 수 있다. 가시 영상은 하층운, 안개, 적설, 해빙 등의 기상현상을 잘 식별할 수 있다. 일반적으로 하층의 구름은 많은 구름입자나 빗방울을 포함하기 때문에 반사도가 높아 상층의 구름보다 밝게 보인다. 적란운과 같이 연직으로 발달한 두꺼운 구름은 많은 구름입자, 얼음입자, 빗방울을 포함하기 때문에 가장 밝게 보인다. 반면에 높거나 얇은 구름은 반사도가 약하므로 어둡게 나타난다.

2. 적외 영상

적외 영상은 지구표면이나 구름에서 방출되는 복사량으로부터 얻어지는 온도정보를 영상화

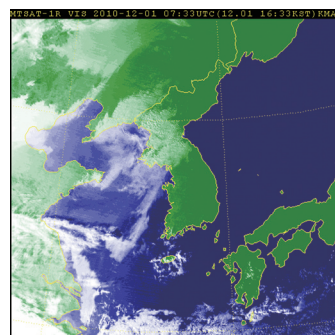
한 것으로, 24시간 연속적인 관측이 가능하다. 온도는 고도와 함께 감소하기 때문에, 복사량이 적을수록 온도가 낮고 고도가 높아진다. 상층운은 밝게, 하층운은 어둡게 나타나며, 회색으로 나타나는 구름은 중층운이다. 적란운은 대류권 상부까지 도달하기 때문에 가장 밝게 보인다.

3. 합성 영상

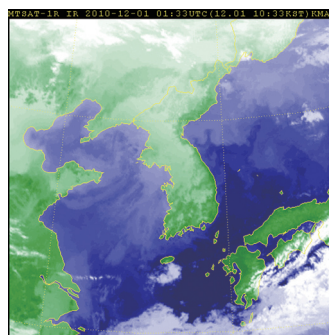
합성 영상은 인위적으로 가시 영상을 붉은색으로 처리하고 적외 영상을 푸른색으로 처리하여 합성한 영상이다. 적외 영상의 밝기에 따라 푸른색 계열로, 가시 영상의 밝기에 따라 붉은색의 계열로 표현된다. 일반적으로 붉은 색은 하층운을, 푸른색은 상층운을 나타낸다. 탁하면서 흰색 또는 흰색이 섞인 분홍색은 하층부터 상층까지 발달한 구름이다.

4. 수증기 영상

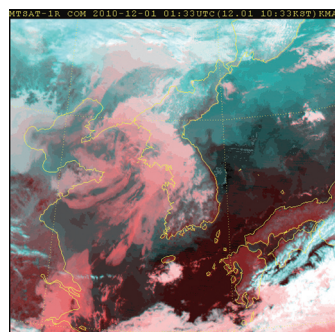
수증기 영상의 경우, 수증기에 의한 흡수가 지배적이기 때문에 영상의 명암은 상·중층의 수증기의 많고 적음에 대응한다. 습윤지역은 밝게, 건조지역은 어둡게 표현된다.



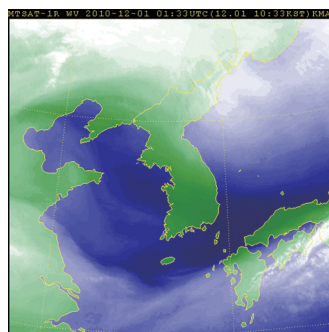
가시 영상



적외 영상



합성 영상



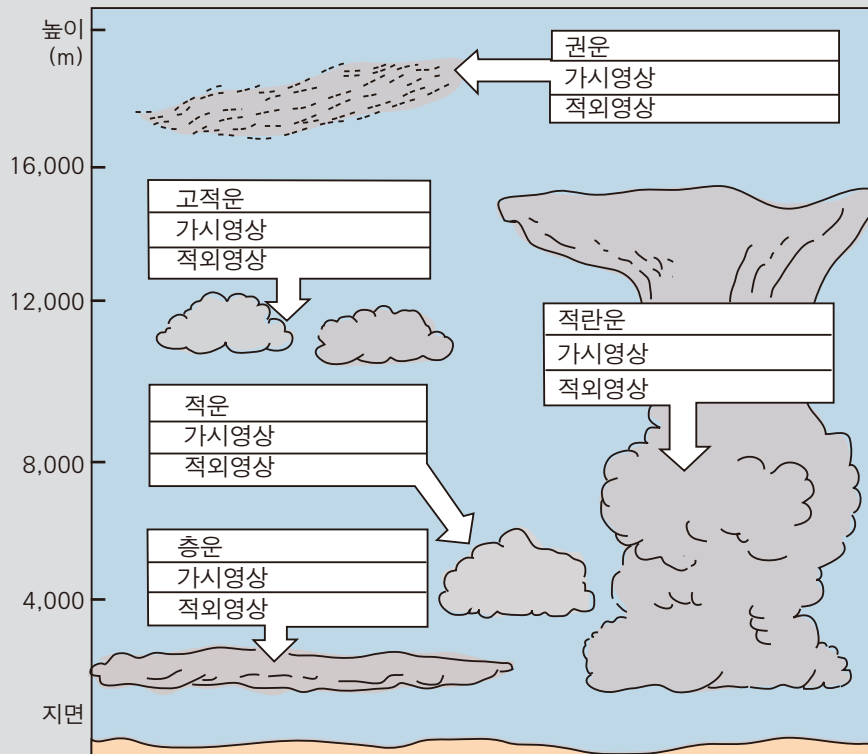
수증기 영상

〈그림 Ⅲ-25〉 2010년 12월 1일 10시의 위성 영상

기상 위성 사진 분석

기상 위성에서 관측한 가시 영상과 적외 영상을 이용하여 구름을 구분하고 지상의 날씨를 예상할 수 있다.

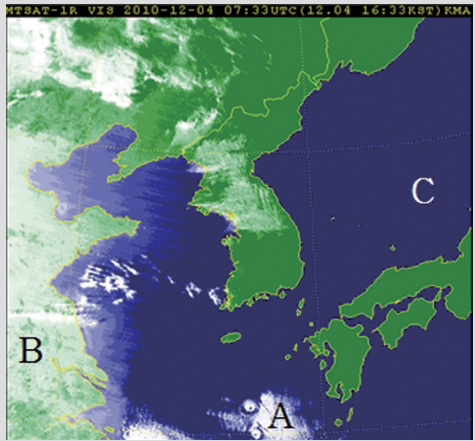
- 1) 다음은 대표적인 구름의 고도와 형태이다. 각각의 구름들은 가시 영상과 적외 영상에서 어떻게 나타날까? 옆에 있는 상자에 간단히 서술해 보자.



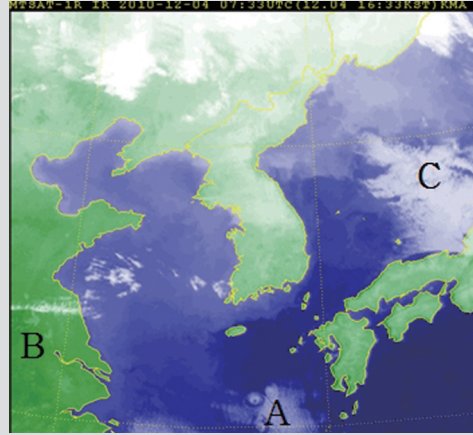
- 2) 안개는 가시 영상과 적외 영상 각각에서 어떻게 나타날지 이야기해 보자.

- 3) 강수 예보를 할 때 위성 영상을 어떻게 이용할 수 있는지 이야기해 보자.

4) 다음 영상은 2010년 12월 4일 07시에 우리나라 주변의 가시 영상과 적외 영상을 나타낸 것이다. 영상에 표시된 A, B, C의 구름의 특징을 쓰고 어떤 구름인지 분석해 보자.



가시 영상



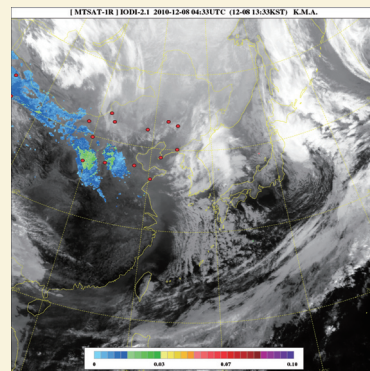
적외 영상

구분	가시 영상	적외 영상	운형
A			
B			
C			



창의 탐구

황사를 분석할 때는 적외차 영상을 이용한다. 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>)를 이용하여 적외차 영상에 대하여 알아보고, 황사가 발생하였을 때 적외차 영상으로 황사가 탐지되는 원리를 조사해 보자.

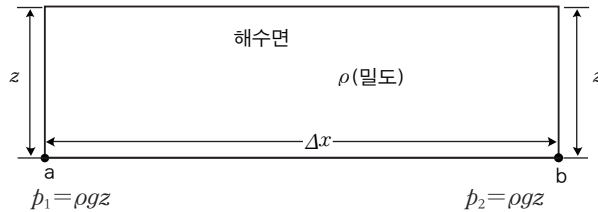


적외차 영상에 나타난 황사의 모습

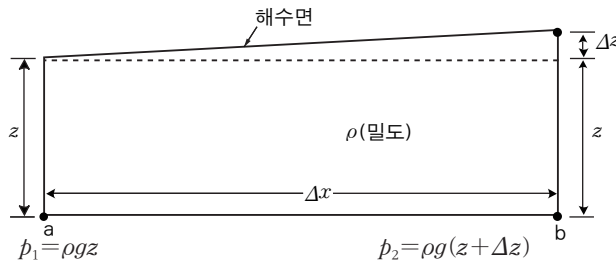
9

해수면의 경사와 해류

바람의 운동은 주로 기압 차이에 의해 발생한다. 즉, 기본적으로 바람은 기압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 불어가며 기압 차이 외에도 전향력, 마찰력 등의 다양한 힘의 작용으로 궁극적인 바람의 방향이 결정된다. 늘 조용한 평면으로만 보이는 해수면도 사실은 다양한 원인에 의해 높고 낮음이 존재한다.



〈그림 Ⅲ-26〉 해수면의 높이가 일정할 때



〈그림 Ⅲ-27〉 해수면이 경사져 있을 때

〈그림 Ⅲ-26〉과 같이 수면의 높이가 일정한 경우에는 두 지점 a, b사이에 수압차이는 발생하지 않는다. 그러나 〈그림 Ⅲ-27〉과 같이 지점 b의 수면 높이가 a보다 높은 경우에는 두 지점에 작용하는 수압이 달라지게 된다. 즉,

$$\begin{aligned} p_1 &= \rho g z \\ p_2 &= \rho g (z + \Delta z) \end{aligned}$$

이므로 두 지점간의 수압경도력은

$$\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x} = g \frac{\Delta z}{\Delta x}$$

이다. 이때 해수는 수압경도력과 전향력이 균형을 이루는 방향으로 흘러가며 해류가 생성되며, 이를 지형류라 한다. 지형류는 북반구에서는 수압경도력의 오른쪽 90°방향으로 흘러가고 해류의 속도(v)는

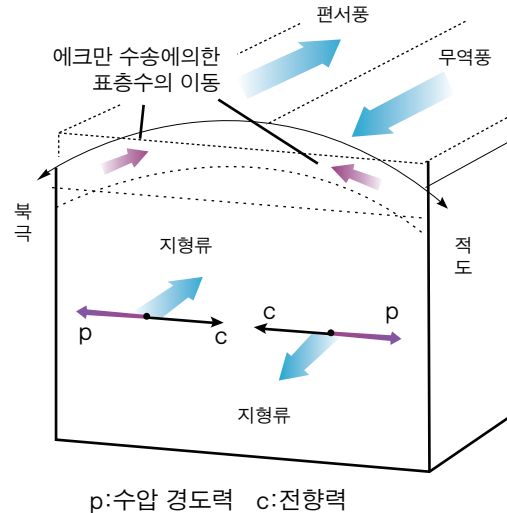
$$\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x} = vu$$

$$v = \frac{1}{f\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

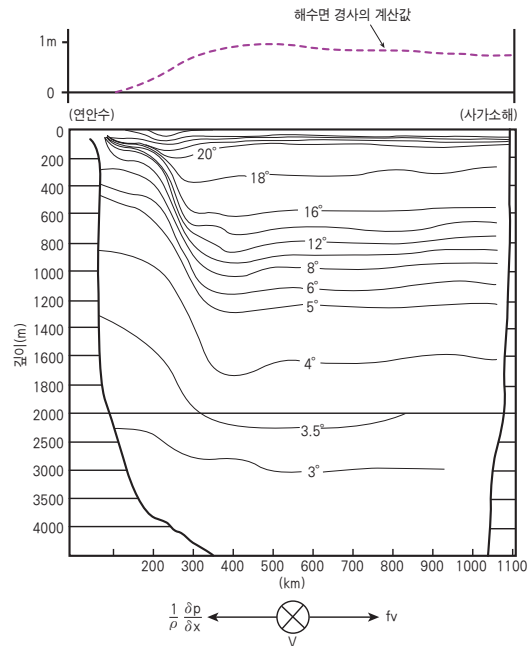
이다.

〈그림 Ⅲ-28〉은 편서풍과 무역풍에 의한 지형류의 생성과정을 모식화한 것이다. 적도 지방의 무역풍은 에크만수층에 의해 해수를 북쪽 방향으로 이동시키고 편서풍은 해류를 남쪽 방향으로 이동시킨다. 따라서 남북으로 이동한 해류가 퇴적되어 해수면이 높아지면 수압경도력이 생기고 이로 인하여 지형류가 발생한다.

〈그림 Ⅲ-29〉는 멕시코만의 전형적인 온도 분포 구조로써 차고 밀도가 큰 연안수가 왼쪽에, 따뜻하고 가벼운 사가소해의 해수가 오른쪽에 있다. 수심 4000 m에서 수평 수압경도력이 없다고 가정하면 사가소해의 가볍과 따뜻한 물의 기둥이 왼쪽의 찬물보다 더 두꺼워야 됨을 의미한다. 즉, 해수면이 왼쪽으로 경사져 있어야 하며, 이때 왼쪽으로 작용하는 수압경도력과 오른쪽으로 작용하는 전향력의 평형에 의해 를 뚫고 들어가는 지형류가 생성된다.



〈그림 Ⅲ-28〉 지형류의 생성

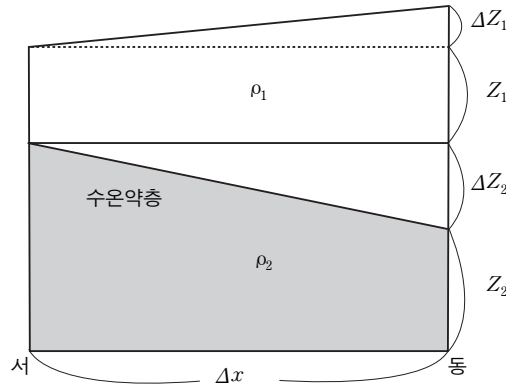


〈그림 Ⅲ-29〉 멕시코만에서의 지형류

탐 구 활동 (1)

해수면의 경사와 해류의 속도

그림과 같이 북위 30° 에서 해수가 수온약층을 경계로 위아래로 밀도가 다른 두 층(ρ_1, ρ_2)으로 나누어졌다고 가정하자. 위층과 아래층의 밀도는 각각 $\rho_1 = 1.025 \text{ g/cm}^3$, $\rho_2 = 1.027 \text{ g/cm}^3$ 이며, 코리올리 인자(f) = $2\Omega \sin 30 = 7.27 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ 이다.



- 1) 표층에서 해류의 방향을 표시해 보자. 또 표층 해류가 1 m/s의 속도로 흐른다고 할 때 해수 표층의 경사를 구하여 보자.
- 2) 아래층은 해류의 흐름이 없다고 할 때, 수온약층의 경사를 구해 보자.

탐 구 활동 (2)

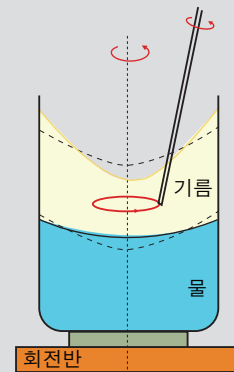
준비물 | 회전반, 물 250 mL, 식용유 250 mL, 비커 500 mL, 나무젓가락

● 해류와 해수면의 경사

지표면은 지구의 자전으로 인하여 반시계 방향으로 회전하고 있다. 그러나 북태평양의 아열대 순환은 태평양에 비해 상대적으로 시계방향으로 회전하고 있다. 따라서 해류의 순환은 지구의 자전에 의한 지표면의 회전 방향과 반대가 된다. 이때 해수면과 수온약층의 높이에 어떤 변화가 나타날까?

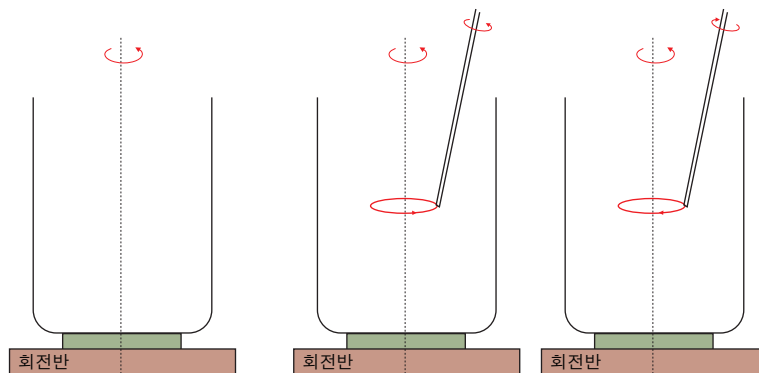
- 1) 그림과 같이 색깔을 달리한 물과 기름을 넣은 비커를 회전반 위에 올려 놓고 반시계 방향으로 회전 원반을 일정한 속도로 회전시킨다.

- 2) 물과 기름이 모두 비커와 같은 속도로 회전할 때까지 놓아둔다.
- 3) 기름 속에 막대를 넣고 비커의 속도보다 더 빠르게 반시계 방향으로 막대를 회전시키면서 물과 기름의 높이를 관찰하여 보자.
- 4) 기름 속에 막대를 넣고 시계 방향으로 막대를 회전시켜 비커보다 기름이 더 느리게 회전하도록 하면서 물과 기름의 높이를 관찰해 보자.



결과 및 토의

- 1) 물과 기름의 회전속도가 같은 때, 기름의 회전속도가 빠를 때, 기름의 회전속도가 느릴 때 물과 기름의 높이가 어떻게 변하는지 그림으로 그려보자.



(가) 비커, 기름, 물이
등속도 회전

(나) 기름만 더 빨리 회전

(다) 기름만 느리게 회전

- 2) 기름이 물보다 빠르게 회전할 때 물과 기름의 높이가 어떻게 변하는지 설명해 보자.

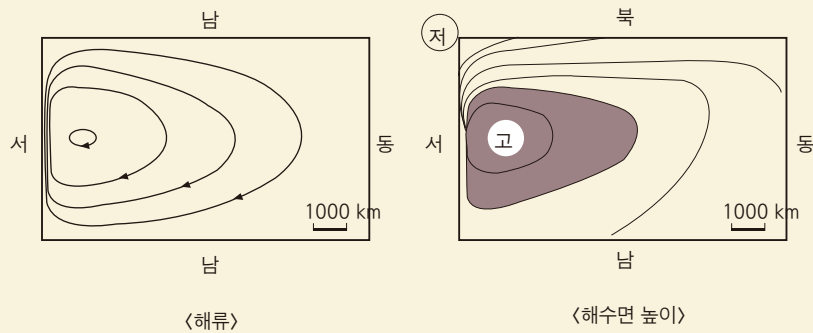
3) 기름이 물보다 느리게 회전할 때 물과 기름의 높이가 어떻게 변하는지 설명해 보자.

4) 실험 결과를 이용하여 아열대 환류에서 해수면의 높이를 설명해 보자.



창의 탐구

그림은 아열대 환류에서 해류의 분포와 해수면의 높이 분포를 나타낸 것이다. 해류와 해수면의 높이가 다음과 같이 나타나는 이유를 조사하여 설명해 보자.



10

열염분 순환

해양의 흐름은 최상층의 표층에 흐르는 표층해류 외에도 밀도약층 아래의 심층수에도 수평·수직적인 흐름이 존재한다. 깊은 곳에서 물의 느린 순환은 바람의 에너지가 아니라 밀도 차에 의해서 일어난다. 해수의 밀도는 온도와 염분의 영향이 크므로 밀도 변화에 의한 해수의 움직임을 열염분 순환(thermohaline circulation)이라 부른다. 사실상 이 열염분 순환은 거의 모든 해수의 연직순환과 전 세계 해양의 순환과 관련되어 있다.

해수는 밀도 성층을 이루고 있어 해저에서 밀도가 가장 크고 해수 표면 근처에서 가장 작다. 밀도 성층은 열대와 온대지방에서 가장 두드러지는데 표층수와 심층수의 온도 차이가 극지방보다 훨씬 크기 때문이다.

1. 수괴

특정한 온도와 염분의 특성을 가지고 있는 해수 덩어리를 수괴(water mass)라 한다. 각 수괴는 기단처럼 서로 다른 밀도 때문에 만나도 쉽게 섞이지 않고 서로의 위나 아래로 흐른다. 수괴는 비교적 긴 거리와 오랜 기간 동안 그 본질을 유지한다. 수괴가 완전히 순환하거나 또는 섞여서 그 본질을 잃는 데는 보통 수백 년이 걸린다.

해양학자들은 수괴를 상대적인 위치에 따라 이름 짓는다. 온대와 열대 지방에는 다음과 같은 대표적인 5개의 수괴가 있다.

- 약 200 m 수심까지의 표층수(surface water)
- 표층수 아래에서 수온약층 바닥까지의 중앙수(central water)
- 중앙수 아래에서 약 1500 m까지의 중층수(intermediate water)
- 중층수 아래에 있으나 바닥과 접하지 않는 약 4000 m까지의 심층수(deep water)
- 해저와 접하고 있는 저층수(bottom water)

각 수괴의 성질은 어느 깊이에 존재하든 일반적으로 수괴가 만들어질 때 바다의 표면에서 일어나는 가열, 냉각, 증발, 희석의 조건에 의해 결정된다. 가장 밀도가 큰 수괴는 염분이 매우 높아지는 해수 표면의 조건에 의해 만들어진다.

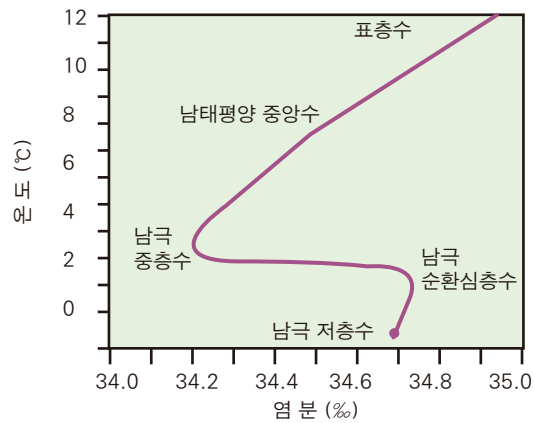
2. T-S도

해수의 성층을 가시화하는 데 가장 좋은 방법은 T-S도(Temperature-Salinity diagram) 상에 나타내는 것이다. <그림 Ⅲ-30>은 남태평양에서의 표층부터 저층까지 각 수심에서 해수의 온도와 염분이 어떻게 변하는가를 T-S도로 나타낸 것이다. <그림 Ⅲ-30>과 같이 T-S도 상에서 해수를 나타내면 각 해수가 나타내는 온도와 염분 값으로부터 수괴를 파악할 수 있다. 남극 중층수에서 심층 순환수로 전이되면서 염분은 급격히 증가하고, 심층 순환수와 남극 저층수 사이에서 수온은 급격히 감소함을 보여주고 있다.

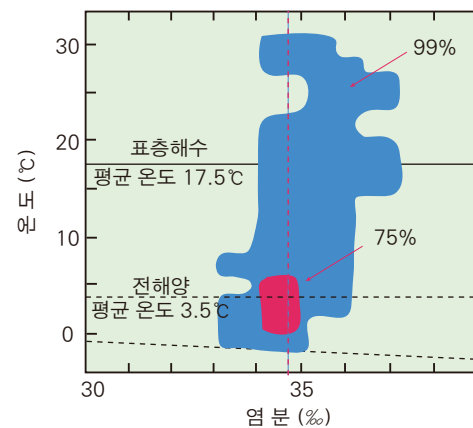
<그림 Ⅲ-31>은 현재 전 대양의 온도와 염분이 변화하는 정도를 T-S도로 나타낸 것이다. 전체 해수의 75% 정도는 염분 34~35‰, 온도 0~5℃의 좁은 범위에 있으며, 99%는 33~38‰ 정도의 좁은 염분 범위에 있음을 알 수 있다. 그리고 해수 전체 평균으로는 염분 34.72‰, 온도 3.5℃의 값을 가지고 있다.

3. 열염분 순환의 패턴

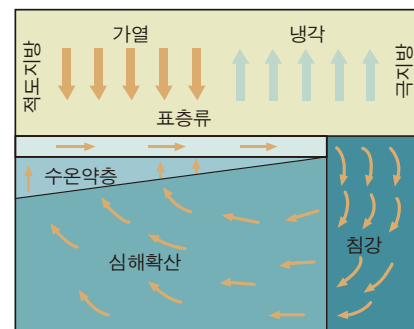
극지방에서 가라앉는 엄청난 양의 무거운 해수는 다른 곳에서 같은 양만큼 상승하는 해수로 대체되면서 순환해야 한다. <그림 Ⅲ-32>는 열염분 순환의 이상적인 모델을 나타낸다. 해수가 가라앉는 곳은 수온이 매우 낮은 좁은 지역인 반면 상승은 온대와 열대지방에 걸친 넓은 지역에서 천천히 일어난다. 그리고 표면에서는 극지방으로 느리게 흘러가는 순환이 일어난다. 넓은 지역에 걸친 심층수의 지속적인 용승은 하루에 1cm 정도 일어나는 것으로 추정하고 있다.



<그림 Ⅲ-30> 남태평양에서의 T-S도



<그림 Ⅲ-31> 전 대양의 해수의 온도와 염분의 분포 범위를 보여주는 T-S도



<그림 Ⅲ-32> 저위도의 가열과 고위도의 냉각으로 야기되는 순수한 열염분 순환 모델

탐 구 활 동

T-S Diagram

대부분 해양의 염분은 33%에서 36%사이에 있다. 염분과 함께 온도는 해수의 대표적인 특성이다. 이 두 요인은 해수의 수직적인 운동을 일으키는 밀도를 결정한다. 해수의 염분과 온도에 따른 해수의 특성이나 변화를 파악하는 데는 T-S도가 매우 유용하게 쓰인다. T-S도를 활용하여 해수의 여러 특성들을 파악해 보자.

1. 해수의 혼합과 수직적인 운동

1) 어느 두 지역의 표층에서 채취한 표본 해수 A, B의 온도와 염분이 아래 표와 같았다. 이 두 해수를 주어진 T-S도상에 표시하고 밀도를 구해 보자.

표본	온도(°C)	염분(‰)	밀도(g/cm ³)
A	0.1	34.23	
B	10.0	35.65	

2) 두 해수가 만나 혼합이 되었다면 혼합된 해수의 온도와 염분 및 밀도를 구해 보자(단, 두 해수는 같은 양이 서로 혼합되었다고 가정한다).

온도(°C)	염분(‰)	밀도(g/cm ³)

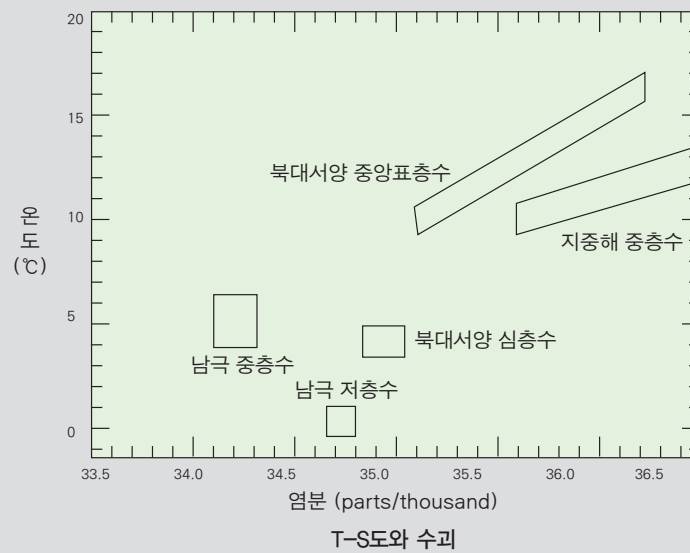
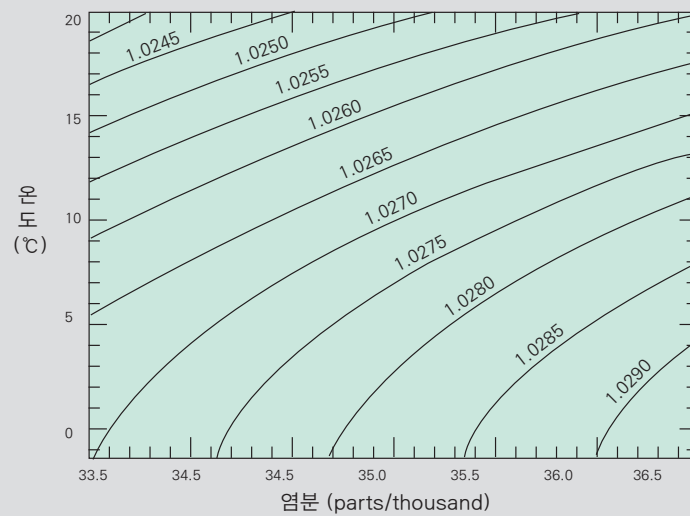
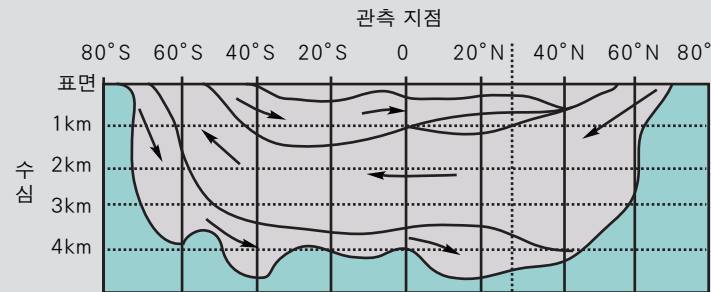
3) 혼합된 해수는 어떤 수직적인 운동을 할 것으로 예상되는가? 그 이유를 설명해 보자.

2. 수괴의 분석

1) 다음은 대서양 중앙부에 위치하는 28 ° N에서 조사한 수심에 따른 해수의 온도와 염분 값이다. 이 해수의 밀도와 수괴를 알아보자.

수심(m)	온도(°C)	염분(‰)	밀도(g/cm ³)	수괴
100	15.0	36.0		
500	4.0	34.2		
1000	10.0	35.8		
2000	4.0	34.9		
4000	0.0	34.7		

2) 위의 자료를 바탕으로 대서양에 존재하는 심층류의 이름을 기록해 보자.

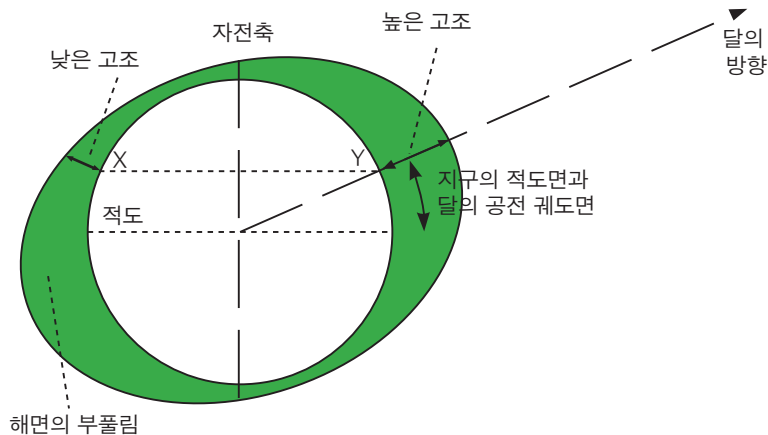


11

조석

조석이란 달과 태양 그리고 지구의 운동에 의해 해수면이 주기적으로 변하는 현상을 말한다. 조석에 의해 발생하는 조석파의 파장은 지구 둘레의 반이나 되기 때문에 대양을 통과하는 파이지만 천해파로 분류된다. 실제 지구에서는 대륙으로 인하여 조석의 진행 방향이 전환되거나 속도가 늦어지기 때문에 조석파의 형태는 복잡하게 나타난다. 또한 해역의 형태에 따라 바닷물이 진자처럼 진동하는 조석파의 공명이 일어날 수도 있다.

조석이 복잡한 가장 큰 이유는 달의 공전 궤도면과 지구 적도면 사이의 각이 계속 변한다는 것이다. 달의 공전 궤도면은 매달 적도면에서 남북으로 28.5° 까지 변한다. <그림 Ⅲ-33>과 같이 달이 북위 28.5° 에서 있으면 해면의 부풀림도 기울어진다. 이로 인하여 고조가 되어도 그 높이의 차이가 발생한다. 북위 28.5° 지방의 경우 X에 위치할 때는 낮은 고조가 되지만 자전하여 Y에 위치하면 높은 고조가 된다. X와 Y 사이의 저조의 높이도 차이가 난다.

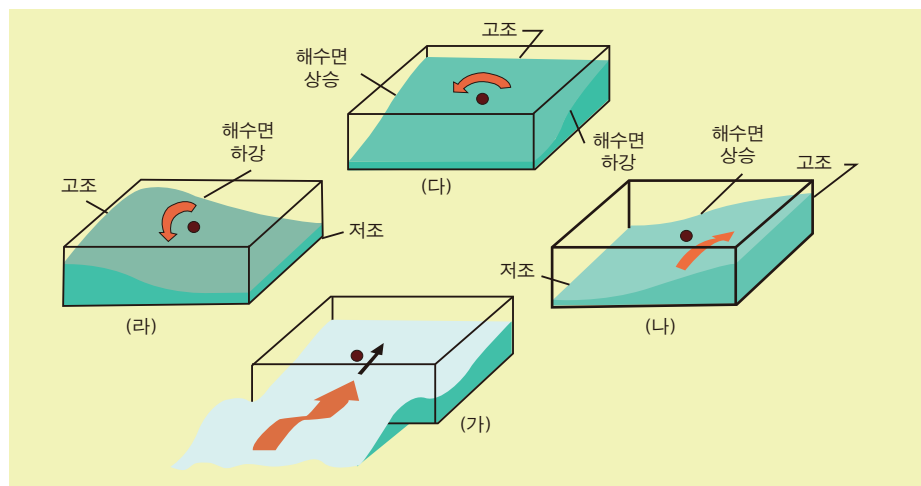


<그림 Ⅲ-33> 고조와 저조에서의 해수면 높이차가 생기는 이유

이와 같은 이유로 하루에 비슷한 크기의 두 번의 고조와 두 번의 저조가 일어나는 반일주조 (semidiurnal tides)가 보이는 곳이 있는 반면, 어떤 곳에서는 하루에 한 번의 고조와 저조가 일

어나는 일주조(diurnal tides)가 보이기도 한다. 그리고 크기의 차이가 나는 고조와 저조가 연이어 발생하면 혼합조(mixed tides)라고 한다.

〈그림 Ⅲ-34〉와 같이 육지로 둘러싸인 바다에서 (가)와 같이 조석파가 진행하면 전향력으로 인해 해수는 파 진행방향의 오른쪽으로 모이면서 (나)와 같이 해역의 동쪽해안에서 고조를 형성한다. 북쪽으로 진행하던 조석파는 해안에 막혀 해안을 따라 서쪽으로 (다)와 같이 이동한다. 파는 계속 반시계 방향으로 이동하면서 (라)와 같이 파 진행방향의 오른쪽인 서쪽 해안에서 고조가 형성되면서 파는 완전히 한 바퀴 돌게 된다. 이때 파가 돌아가는 중심점을 무조점(amphidromic point)이라 하는데 이곳에서는 조석이 일어나지 않는 곳이다. 전 세계에는 여러 개의 무조점이 있는데 태평양에만 5개의 무조점이 존재한다.



〈그림 Ⅲ-34〉 무조점을 중심으로 회전하는 조석파

조석 자료와 월령 분석

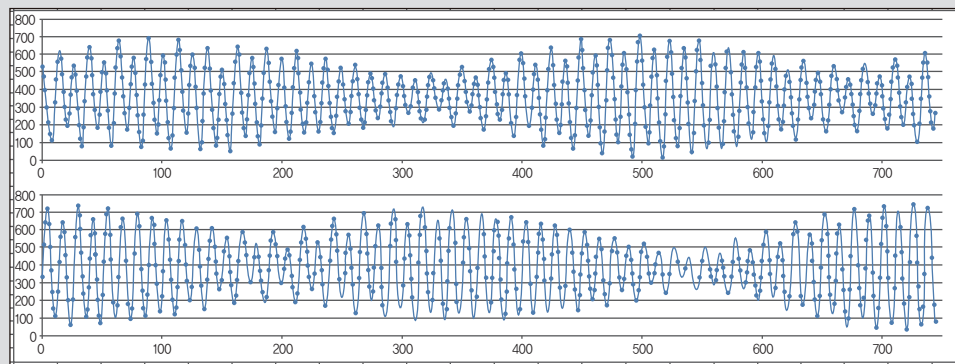
조석에 가장 큰 영향을 주는 것은 달이다. 달의 위치에 따라 조석의 크기가 변한다. 우리나라 주변의 바다에서도 시간에 따라 조석의 크기가 변할 뿐만 아니라 지역에 따라 유형이 다르게 나타난다. 조석 자료를 이용하여 조석 곡선을 작성하고 이로부터 달과의 관계와 조석 유형에 대하여 알아보자.

1) 국립해양조사원(<http://www.khoa.go.kr>)을 방문하여 우리나라의 조위관측소가 어디에 있는지 확인해 보자.

2) 동해안, 서해안, 남해안의 조위관측소를 각각 적어도 1곳씩 선택하고 이곳의 여름(8월)과 겨울(1월)의 조석 자료를 구한다.

해안	동해안	서해안	남해안
조위관측소			

3) 위에서 구한 조석 자료를 이용하여 조석곡선을 작성한다. 이때 가로축은 시간, 세로축은 조석의 높이를 나타낸다.

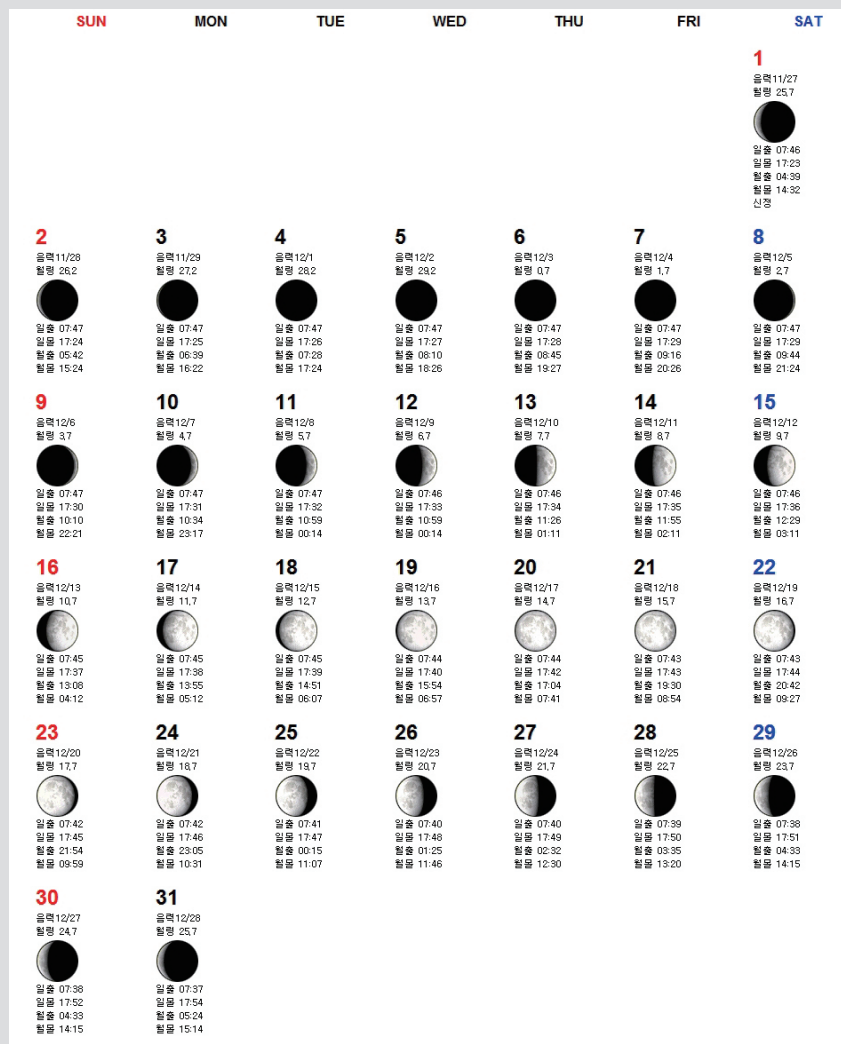


조석곡선의 예(군산 조위관측소 2007년 1월과 8월)

4) 조석곡선으로부터 분석 지역의 조석 유형을 결정해 보자.

조위관측소			
조석 유형			

5) 분석 기간 동안 각 지역에서 대조와 소조가 일어난 시기와 이때의 월령을 비교해 보자. 월령은 웹 사이트 'Astronote'(<http://astronote.org/calendar.php>)를 이용하자.



Astronote site에 제시된 월령 모양

6) 각 지역에서의 대조차와 소조차를 구해보자. 대조차는 월간 조석곡선에서 대조 평균고조면(MHWS, Mean High-Water Spring)과 대조 평균저조면(MLWS, Mean Low-Water Spring)의 차이이며, 소조차는 월간 조석곡선에서 소조 평균고조면(MHWN, Mean High-Water Neap)과 소조 평균저조면(MLWN, Mean Low-Water Neap)의 차이로 구한다.

〈표〉 각 관측 지점의 대조차, 대조시기와 그 때의 달 위상

관측 지점(월)	대조차(cm)	대조시기(음력)	달의 위상	월령
1월				
8월				
1월				
8월				

〈표〉 각 관측지점의 소조차, 소조시기와 그 때의 달 위상

관측 지점(월)	소조차(cm)	소조시기(음력)	달의 위상	월령
	1월			
	8월			
	1월			
	8월			
	1월			
	8월			



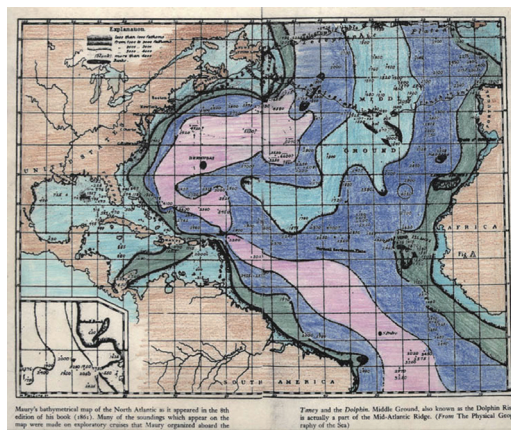
창의 탐구

우리는 밀물과 썰물을 통하여 바다에서의 조석을 쉽게 접할 수 있다. 그럼 조석 현상은 육지나 대기에 대해서도 일어나겠는가? 일어난다면 그 크기가 얼마나 되는지 조사해 보자.

12

해저지형 측정

19세기 이전까지도 지표면의 70% 이상을 차지하는 바다 밑의 모양은 알려진 것이 거의 없었고, 많은 사람들은 그 바닥이 평탄한 평원과 같으리라고 상상하였다. 1800년대 초 유럽과 미국 사이의 전신 케이블 설치를 위한 대서양의 해저 지형에 대한 탐사의 필요성이 강조되면서 바다의 수심 측정을 주목적으로 하는 탐사가 본격적으로 증가하게 되었다. 당시에는 피아노 줄과 추를 이용하였는데 매번 줄을 내리고 올려야 하는 등 어려움이 많았다. 그런 어려움 속에서도 1855년 대서양의 해저 지형도가 미 해군 중위 마우리(M. Maury)에 의하여 처음 발표되었다.



〈그림 Ⅲ-35〉 미국 해군 장교인 마우리(Maury)에 의해서 1859년 제작 발표된 대서양 해저 지형도.

또한 챌린저호가 수행한 대양탐사 도중, 서태평양의 마리아나 근처에 10,000 m가 넘는 깊이를 가진 심연이 있다는 것을 발견하게 되면서 해저 지형에 대한 관심이 증가하였다. 이곳은 아직까지도 세계에서 가장 깊은 곳으로 알려져 있으며 챌린저 심연이라 불리고 있다.

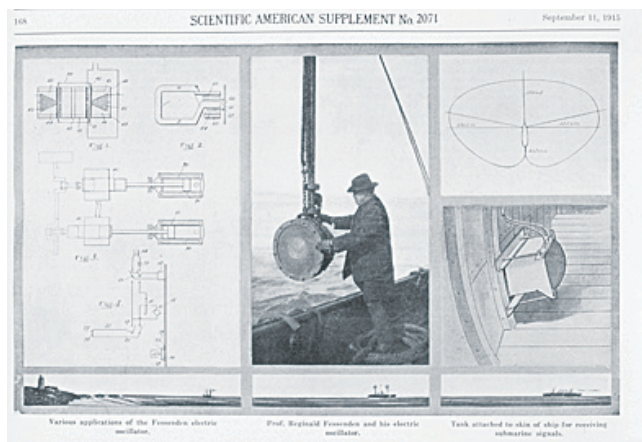
이러한 선구적인 노력에도 불구하고 바다는 연구하기가 너무 어렵다는 이유로 과학자들의 관심을 크게 끌지 못하고 있었다. 그러나 바다에서 발생하는 대형 재난 사고나 전쟁의 효과적인 수행을 위해서 새로운 탐사 기술이 요구되었다.

1912년 영국의 사우스 햄프턴 항을 출발하여 뉴욕으로 향하던 타이타닉 호는 처녀 출항에서 빙산과의 충돌로 침몰하는 대형 사고가 발생한다. 이 사고로 승객과 선원 1,400여 명이 생명을 잃게 되는데 이 사건을 계기로 음파를 이용한 새로운 해양 탐사 방법의 개발이 촉진되었다. 당시 선박은 선원의 훈련된 눈에만 의지하여 항해하고 있었다. 따라서 밤이나 안개가 짙을 때는 마치 눈을 감고 고속도로를 운전하는 것과 같은 위험한 상태였다. 발명왕 에디슨의 조수이기도 했던 페센덴(R. Fessenden)은 소리의 반사 즉 메아리를 이용하여 빙산을 감지할 수 있으리

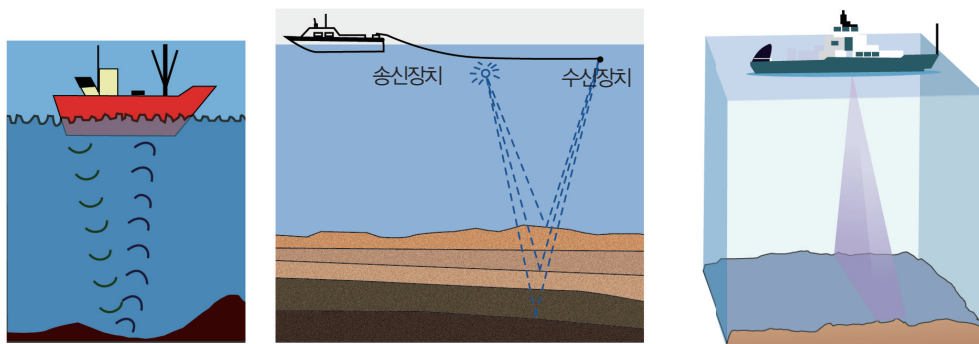
라는 생각을 하고 있던 중 이 사고를 접하고 2년 만에 새로운 장치인 SONAR(Sound Navigation And Ranging)을 발명하게 되었다. 그는 전기적인 장치를 이용하여 수중에서 작동하는 초인종을 만들어 바다 속에서 사방으로 음파를 보낸 후 수중 마이크와 수신기를 이용하여 메아리를 측정하여 배 주위에 어떤 장애물이 있는지를 알아냈다.

이러한 페센덴의 발명이 성공하면서 그의 장치는 빙산뿐만 아니라 잠수함의 탐지 그리고 해저의 수심을 측정하는 장치로 수요가 급증하였으며, 아울러 기술 개선과 함께 해저에 관한 정보가 증가하게 되었다. 이어 세계 제1차 대전 이후 음파를 이용하여 수심을 재는 방법이 새롭게 등장하였다.

페센덴은 약 1,000Hz의 가청음을 사용하였는데, 주파수가 높은 음을 쓰면 감쇠는 크지만 분해능이 높아지기 때문에 현재 심해의 측심에는 약 10kHz의 음파가 사용되고 있다. 또한 50kHz의 음파를 사용하면 어망이 물속에서 어떻게 펼쳐져 있는가를 알 수 있고, 물고기 떼의 유무를 확인할 수 있다. 음파를 이용하고 있는 이런 어군탐지기는 지금은 소형 어선에도 설비되어 있고, 크기가 큰 물고기의 경우는 마리 수까지도 헤아릴 수 있는 정밀도를 가지고 있다. 그 외에도 음파의 주파수를 수 kHz로 낮추면 해저의 퇴적물 구조를 조사할 수도 있다. 이 방법은 해저유전 탐사에도 널리 사용되고 있다. 산모가 태아의 상태를 확인할 때 이용하는 방법도 바로 이 방법이다.



〈그림 Ⅲ-36〉 페센덴의 실험에 대한 당시 신문 기사



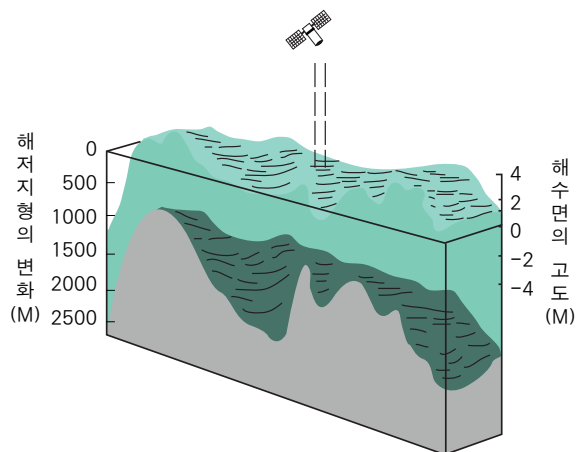
〈그림 Ⅲ-37〉 SONAR의 발달 단계. 정지된 한 지점에서 한 개의 음파로부터 수심을 재던 기술에서 이동하면서 동시에 여러 음파를 처리하여 해저 지형을 파악하는 단계로 발달하였다.

수중에서 음파의 속도는 1827년에 최초로 측정되었으며 그 후 100년이 지난 1920년대에 최초의 음향측심기(echosounder)가 개발되었다. 이때는 정지한 배에서 해저에 수직으로 보낸 음파가 반사되어 되돌아오는 시간으로부터 구하는 방법으로 수심을 구하였다. 그 후로 약 50년간 수중 음향학과 전자 공학의 발달로 1970년대에 이르러 한 단계 진보된 정밀 음향측심기인 PDR(Precision Depth Recorder)이 개발되었다. 이 장치는 음파가 되돌아오는 데 걸리는 시간의 연속 측정이 가능하여 항로를 따라 연속적인 해저 단면을 구할 수 있게 되었다. 이 장치를 통해 해저에도 육상과 같이 산맥과 평야 등의 해저 지형이 있음을 알게 되었다. 이러한 수심 측정 장비들은 하나의 주사선(beam)만을 이용하므로 결국 탐사 선박이 지나가는 탐사측선의 수심만을 측정할 수밖에 없었다. 1980년대 초에 이르러 송수신이 같이 수행될 뿐만 아니라 컴퓨터의 발달로 여러 개의 주사선, 최대 120개의 주사선을 한꺼번에 처리할 수 있는 사운드 빔(sound beam)이 개발되어 보다 효율적인 해저 지형에 대한 조사를 할 수 있게 되었다. 그러나 음파를 이용한 조사는 모든 바다에 직접 나가야 한다는 한계를 늘 가지고 있었다. 그 후 과학자들은 해수면의 굴곡을 조사하면서 우연히 해저 지형을 파악할 수 있는 방법을 접하게 되었다.

실제 해수면은 평평한 면이 아니다. 바람이나 조석, 해류, 지역적인 중력의 차이 등의 이유로 해수면은 굴곡을 가지고 있다. 그러므로 정밀한 해저 지형을 알아내기 위해서는 해수면의 높낮이에 대한 정확한 자료가 필요하다. 그러나 해양 관측선을 이용하여 해수면의 높이를 측정하는 것은 매우 어렵고, 많은 시간이 소요된다. 이런 문제를 해결하기 위하여 인공위성을 이용한 해수면의 고도 측정이 1980년에 처음 실시되었다.

‘Seasat’이라 명명된 이 인공위성은 해수

면 자료를 수집하기 시작한 지 1개월을 넘기지 못하고 특별한 이유 없이 폐기되고 말았다. 공식적인 이유는 기계적인 고장이라고 하였지만 대부분의 과학자들은 군사적인 이유라고 믿고 있다. 당시는 냉전시대로 미국과 소련이 군사적 우위를 차지하기 위하여 노력하던 때로 잠수함 작전에는 해저지형에 대한 정보가 매우 중요한데, 과학자들이 이 인공위성의 자료로부터 해수면에 영향을 주는 다른 요인들을 제거한 후 역으로 해저지형을 전 지구해양에 대하여 추정하였기 때문이었다. 실제 수심이 1000 m 깊어지면 해수면이 4 m 정도 낮아지는 것으로 조사되었다. 그 후 다른 여러 해양 관측 위성들이 지구 주위를 돌게 되면서 얻어진 정보로부터



〈그림 Ⅲ-37〉 해저지형과 해수면 높이

현재 우리가 알고 있는 해저 지형도가 완성되었다.

이렇게 조사된 해저 지형은 크게 태평양형과 대서양형으로 나눈다. 태평양 대륙연변부에서는 판들의 충돌로 매우 좁고 깊은 해구가 길게 발달되어 있다. 반면에 대서양 대륙연변부는 육지 쪽으로 대륙붕, 대륙사면, 대륙대가 차례로 발달되어 있다. 태평양 연변부는 해구에서 판의 섭입으로 인한 활발한 화산활동, 습곡, 단층 또는 지진으로 활동적인 대륙 연변부(active margin)라 하며, 대서양 대륙연변부는 특별한 지각변동 없이 막대한 양의 퇴적물이 집적되어 있는 수동적 대륙연변부(passive margin)라 한다. 대륙붕도 태평양에서는 섭입대의 발달로 비교적 좁고 단층이 발달되어 있으며, 대서양에서는 폭이 넓고 비교적 두꺼운 퇴적층이 발달되어 있다.

탐 구 활 동

준비물 | 해수면 고도자료, Google earth 프로그램

해저지형의 측정

인공위성으로부터 구한 해수면 자료와 해저지형 간의 관계를 알아보고, 주어진 해수면 자료를 이용하여 해저지형을 추정하여 본다.

- 1) <그림 1>과 같이 북대서양에서 A-A'와 B-B'를 따라 인공위성에서 측정한 해수면의 고도 자료를 <표 1>에 나타내었다.

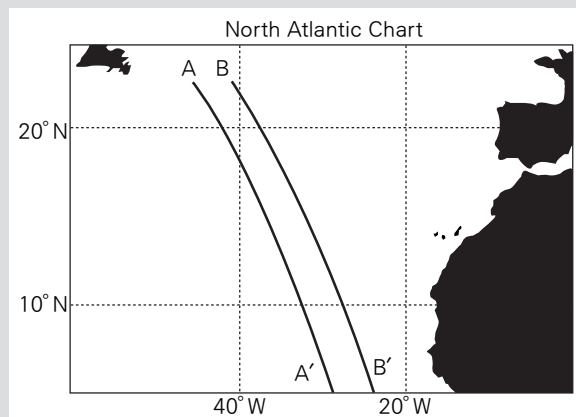


그림 1 북대서양에서의 인공위성 궤적

<표 1> A-A'와 B-B'를 따라 측정한 해수면의 고도차와 수심

위도(°N)		24	26	28	30	32	34	36	38	40
해수면 고도(m)	A-A'	-4.1	-3.7	-0.7	+1.5	+3.9	+6.1	+3.3	+1.3	-0.4
	B-B'	-6.0	-4.4	-1.2	-1.4	+3.5	+6.2	+6.4	+3.0	+0.4

이 지역에서의 실제 수심을 <그림 2>와 같이 Google earth 프로그램을 이용하여 알아보자.

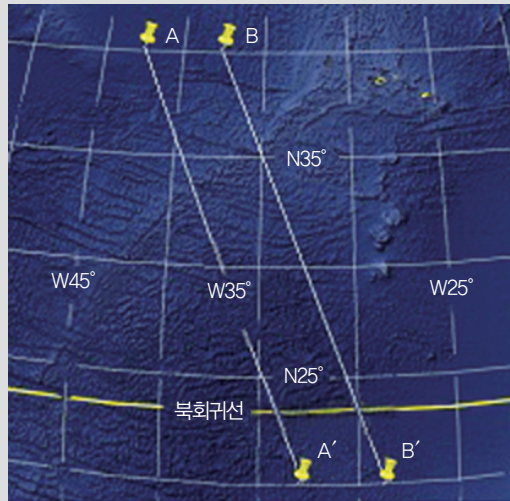
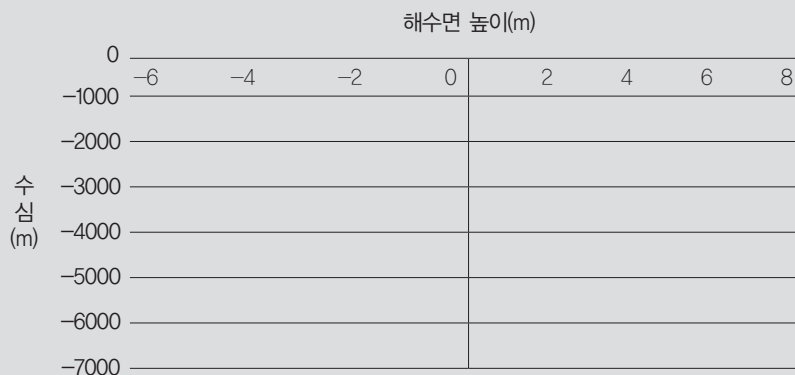


그림 2 Google earth 프로그램에서의 수심 측정

<표 2> A-A'와 B-B'를 따라 측정한 해수면의 고도차와 수심

위도(°N)		24	26	28	30	32	34	36	38	40
실제 수심(m)	A-A'									
	B-B'									

2) <표 1>과 <표 2>를 이용하여 A-A'와 B-B'를 따라 측정한 해수면 높이와 수심과의 관계를 그래프로 그려보자. 또한 이 두 요소 간의 상관관계를 엑셀 등을 이용하여 알아보자.



3) 다음 표는 <그림 3>과 같이 남태평양에서 인공위성이 C-C'와 D-D'의 궤적을 따라 움직이면서 측정한 해수면 고도 자료이다. 이 고도 자료로부터 위에서 구한 회귀식을 이용하여 수심을 계산해 보자. 또한 Google earth 프로그램을 이용하여 실제 수심을 구해보자.

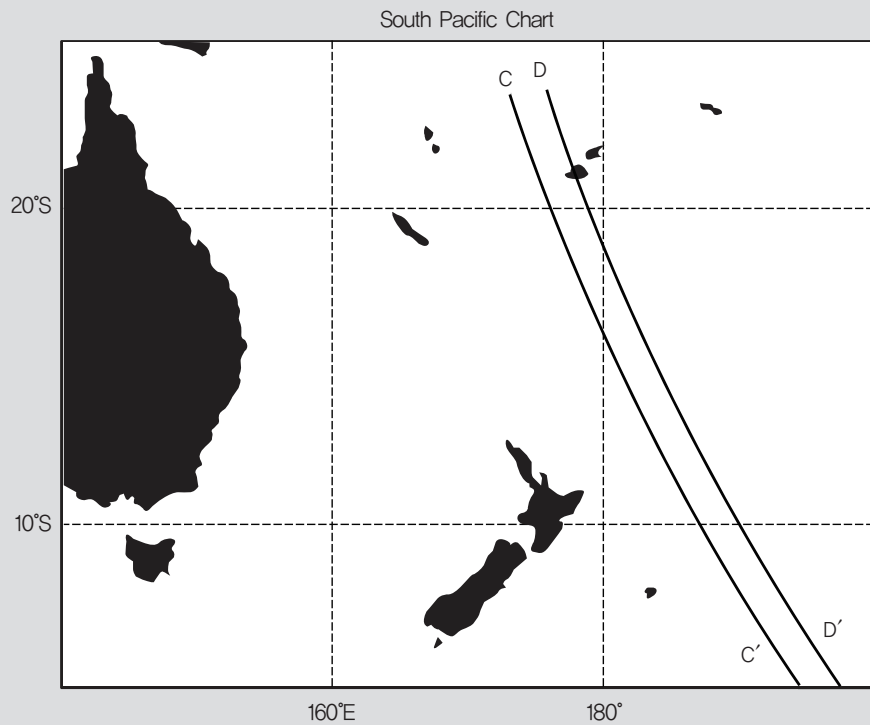


그림 3 남태평양에서의 인공위성 궤적

<표 3> C-C'를 따라 측정한 해수면의 고도차와 수심

위도(°N)	40	38	36	34	32	30	28	26	24
해수면 고도(m)	-0.2	+0.7	+1.6	-0.2	-16.8	-0.3	+4.3	+2.0	-
회귀식을 이용한 수심(m)									
실제 수심(m)									

〈표 4〉 D-D'를 따라 측정한 해수면의 고도차와 수심

위도(°N)	40	38	36	34	32	30	28	26	24
해수면 고도(m)	+1.2	+3.1	+3.0	+3.2	+2.4	-9.1	-8.2	+9.1	+8.2
회귀식을 이용한 수심 (m)									
실제 수심(m)									

4) 회귀식으로 구한 수심과 실제 수심과의 관계에 대하여 이야기해 보자.

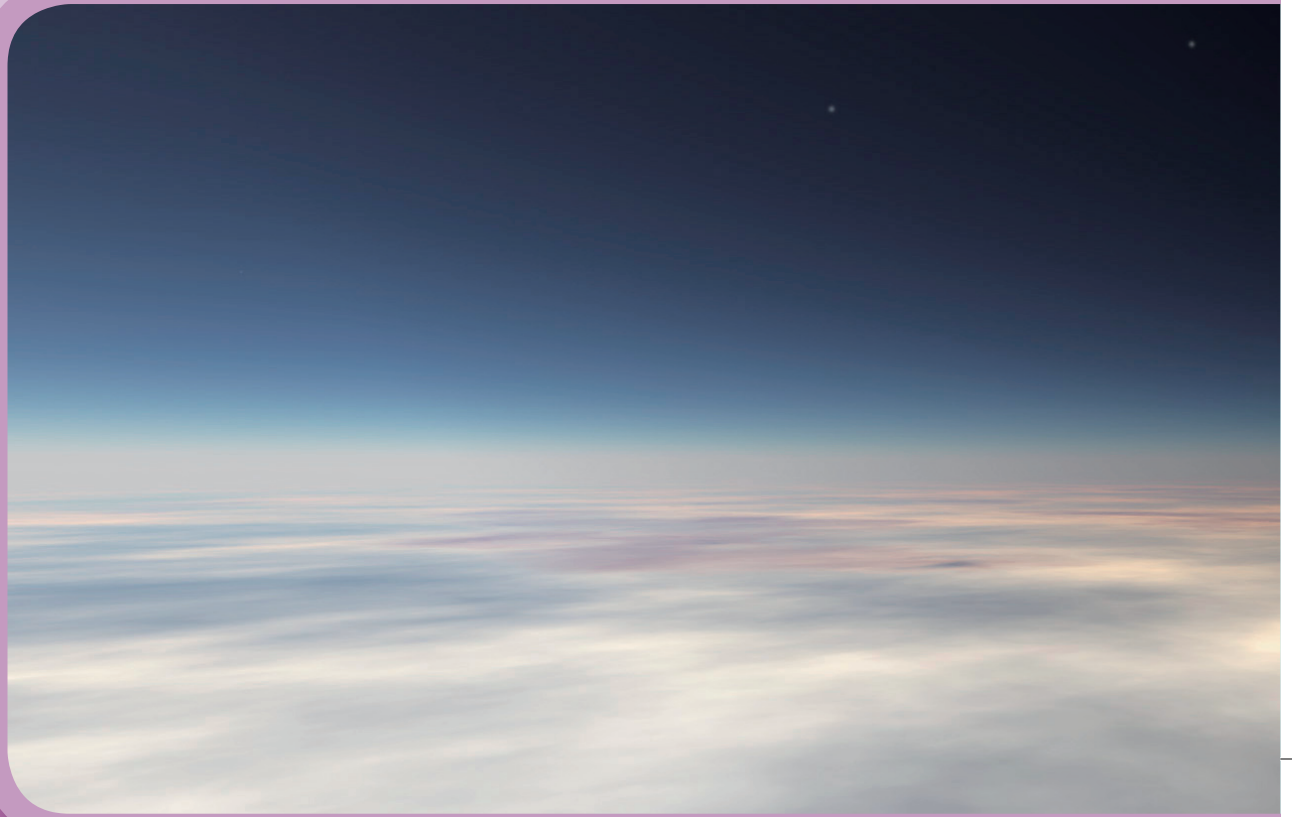
결과 및 토의

- 1) 해수면의 수심과 해저 지형 간에는 어떤 관계가 있는가?
- 2) A-A'와 B-B'를 따라 존재하는 해저 지형은 무엇인가?
- 3) C-C', D-D'를 따라 존재하는 해저 지형은 무엇인가?



창의 탐구

해저 지형에 따라 해수면의 고도 차이가 나는 이유를 설명해 보자.



IV

지구의 환경



〔 단원 안내 〕

지구를 구성하는 환경은 끊임없는 변화와 진화를 거쳐 인류를 비롯한 생명체가 살수 있도록 하였으며, 미래의 지속적인 삶의 환경으로써 매우 중요한 의미를 가진다. 지구환경의 구성 요소는 따로 존재하지 않으며 상호간에 물질과 에너지 등을 활발히 교환하면서 전체적으로 지구환경 속에서 상호조화를 이루고 있다.

이 단원에서는 지구환경을 구성하는 요소들의 변화와 미래에 대해 알아보고자 한다. 또 사람의 활동으로 인하여 지구환경 구성 요소는 어떻게 변하고 있으며, 미래의 지구를 온전히 보존하기 위해 어떤 일들을 해야 하는지 탐구 활동을 통해 조사하고, 연구할 수 있도록 한다.

1

자기권과 태양풍

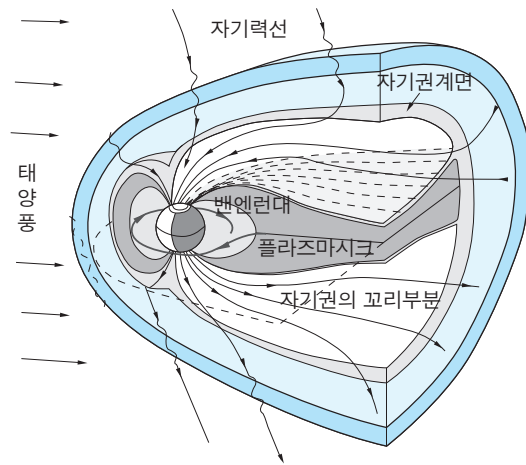
비둘기는 오래전부터 ‘전서구’라 하여 탁월한 귀소본능으로 서신을 전하는 새이다. 일부 과학자들은 비둘기의 탁월한 귀소본능과 방향감각은 지구의 자기장을 이용하는 것으로, 비둘기의 몸속에 있는 자기장을 감지할 수 있는 기관이 지구 자기장과 상호작용하여 방향타 역할을 한다고 설명한다. 비둘기 외에도 지구 자기장을 이용하여 활동을 하는 여러 생물이 알려져 있다. 이들은 모두 비교적 크게 변하지 않는 지자기장의 도움을 받으며 의존하여 생활하고 있다.

지구의 자기권은 지구와 지구 주변에 있는 공간에까지 퍼져있다. 자기권의 영역은 지구 자기장과 대전입자로 구성된 태양풍의 상호작용으로 형성된다. 즉, 태양풍이 지구자기의 자기장에 의해 휘어져 지구 주위를 피해 지나가면서 생기는 면이 자기권의 외부 경계가 되며, 이 부분을 자기권계면이라 한다.

자기권계면은 원통형으로 차차 변화하는 총알모양의 앞면을 가지고 있으며, 그 단면은 대략적으로 원형이다. 자기권의 앞부분은 태양풍의 압력에 의해 짓눌려져 지구 중심까지의 거리는 평균 $10.5R_E$ 이지만 태양풍이 강할 때는 $6.6R_E$ 의 거리에 나타나기도 한다. 태양 반대면의 자기권은 긴 ‘자기꼬리’로 내뻗어져 $25\sim30R_E$ 에 달한다. 이는 지구에서 달까지 거리의 1/2에 상당하는 크기이다.

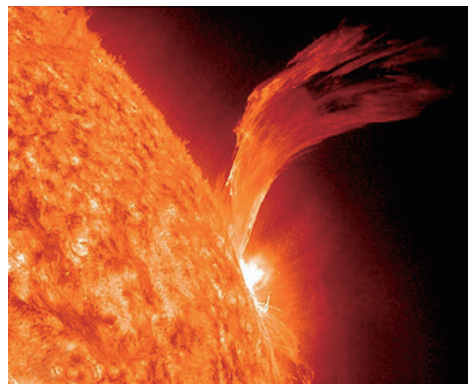
자기꼬리는 플라즈마시트로 분리된다. 이 온도와 전자들은 태양풍에 의해 자기력선을 따라 흐르지만 극히 적은 태양풍의 이온들은 태양풍의 흐름을 거슬러 자기꼬리 돌출부에 모여 플라즈마시트를 형성한다. 플라즈마시트는 전형적으로 지구반경의 2~6배의 두께를 가지고 적도에 집중해 있으며, 모양은 태양의 반대쪽으로 돌출되어 있지만 자기력선은 항상 적도를 가로 지른다.

태양은 지구상에 있는 모든 생물에 없어서는 안 될 존재이지만 알고 보면 생물을 멸종시킬



〈그림 IV-1〉 자기권의 구조

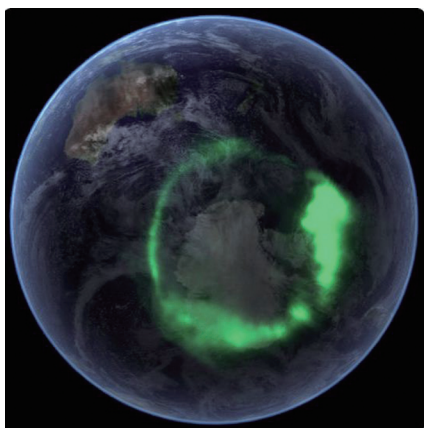
수 있는 이중의 양면성을 가지고 있다. 태양에서는 여러 파장의 복사 에너지와 물질이 지속적으로 방출되며 이들은 끊임없이 지구에 도달하고 있다. 때때로 태양면에서 플레어 등의 강력한 폭발 현상이 발생하면 이 때 태양에서 방출되는 막대한 양의 전자기파 또는 물질은 지구에 여러 교란현상을 일으킨다. X선, 전파와 더불어 태양에서 방출된 태양풍 플라즈마는 약 4일 후에 지구에 도달한다. 이는 태양으로부터 방출된 주로 양성자와 전자, 그리고 약 3%의 헬륨과 약간의 중원소가 우주 공간을 향해 쏟아져나가는 대전(帶電)입자의 흐름으로, 태양으로부터 1AU(천문단위)의 거리에서 1 cm³당 1~10개의 입자를 가지고 있으며, 평균속도는 500 km/s이지만 태양표면에서 폭발이 있을 때는 2,000 km/s에 달한다.



〈그림 IV-2〉 태양면에서 발생하는 강력한 플레어

태양풍으로부터 지구를 보호하는 것이 지구의 자기장이다. 태양풍을 타고 지구까지 도달한 입자들의 일부는 하나의 거대한 자석인 지구의 자기권속으로 빨려 들어가고 극지방의 상층대기와 충돌함으로써 가시광선, 자외선, 적외선 영역의 빛을 방출한다. 이것이 곧 오로라이다.

오로라는 위도 60°에서 80°의 지역에서 많이 볼 수 있으며, 이 지역을 오로라대라고 한다. 지구 바깥쪽에 있는 자기력선은 너무 약하기 때문에 대전 입자를 붙잡기 어려워 바깥쪽 자기력선이 모이는 지구의 극지방에서는 오로라가 잘 발생하지 않는다.



〈그림 IV-3〉 북극방향에서 바라본 오로라의 모습



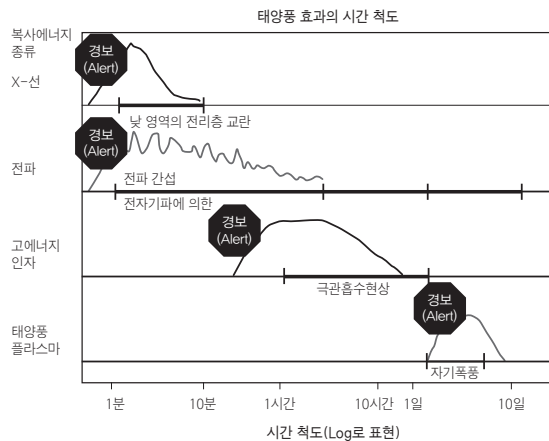
〈그림 IV-4〉 오로라. 주로 산소 원자에 의해 방출되는 파장 557.7 nm의 녹색으로 관찰된다.

오로라대의 크기는 항상 일정하지 않고 태양의 활동에 따라 변한다. 태양의 활동이 약할 때에는 에너지가 약한 대전 입자가 지구로 날아온다. 그래서 대전 입자가 자기력이 약한 바깥쪽 자기력선에 잘 붙잡힌다. 이때에는 오로라가 고위도 지역에 많이 발생한다. 한편, 태양의 활동이 활발할 때에는 많은 양의 고에너지의 대전 입자가 지구로 날아온다. 이때에 오로라대는 크게 확장되며 고에너지 대전 입자가 자기력이 강한 안쪽 자기력선에 잘 붙잡힘에 따라 오로라 발생 지역이 저위도까지 내려온다.

탐 구 활동 (1)

태양풍이 지구에 미치는 영향 조사하기

지구를 둘러싸고 있는 우주 환경은 태양활동에 따라 역동적으로 변화한다. 태양면에서 교란이 발생하면 막대한 양의 전자기파와 물질이 지구의 대기권으로 진입한다. 파장이 짧은 X-선은 수 분 내에 도달하여 낮 영역의 전리층을 교란시키며 태양풍 플라즈마는 수 일 후에 도달하여 자기 폭풍을 일으킨다. 이러한 우주 환경의 변화는 사회·경제적으로 우리의 생활에 영향을 미친다.



- 1) 태양면에서 교란이 발생하였을 때 방출되는 전자기파 또는 물질을 조사하고 이들이 지구환경에 어떠한 영향을 미치는지 조사해 보자.

전자기파 또는 물질	지구 도달하는데 걸리는 시간	지구에 미치는 영향	지구에 영향을 미치는 기간	사회 경제적인 영향
고에너지 입자	10분~1일	고에너지 하전 입자가 극관 영역을 과도하게 이온화시킴(극관 흡수)	수일	극지방에 HF 통신이 불가능해진다.

- 2) 우주 환경의 변화로 일어난 역사적 사건을 조사하여 발표해 보자.

탐 구 활동 (2)

지구 주변에서 태양풍의 흐름 시뮬레이션 관찰

지구 주변에서 도달하는 태양풍은 지구의 대기를 모두 날려 버릴 만큼 강력하다. 그럼에도 지구는 수십억 년 이상을 태양풍의 위협으로부터 비교적 안전하게 보호되어 왔다. 지구가 태양풍의 위협에서 안전했던 이유는 무엇일까?

- 1) 인터넷에서 지구에 도달하는 태양풍의 흐름을 보여주는 동영상 또는 사진을 찾아 관찰하고, 지구 주변에서 태양풍의 흐름이 어떻게 나타나는지 설명해 보자.

(참고 : (<http://ds9.ssl.berkeley.edu/viewer/flash/flash.html>))

- 2) 지구 주변에서 태양풍의 흐름이 위와 같이 나타나는 이유가 무엇인지 설명해 보자.

- 3) 지구의 자기장이 약해지거나 소멸되면 어떤 일이 발생할 수 있을지 상상해 보자.



창 의 탐 구

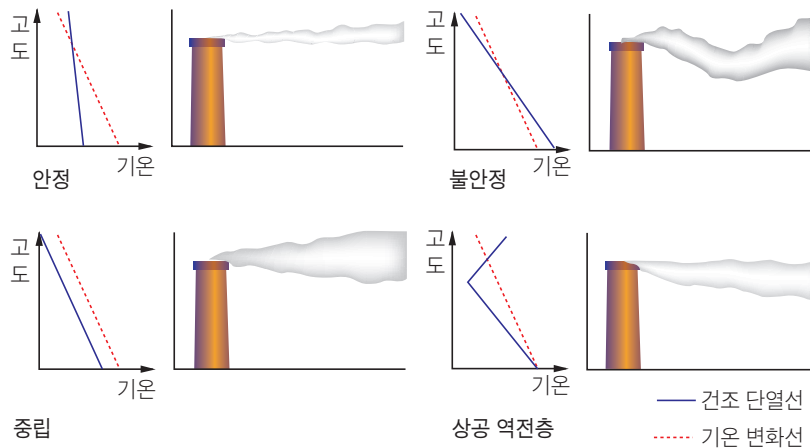
세계 각국에서는 우주 환경예보를 위해 지속적으로 태양의 활동과 자기권 또는 전리권의 변화를 모니터링하고 있다. 우주 환경 변화 조기 경보 시스템을 구축하려면 어떤 시스템을 구축해야 할지 구상해 보자.

2

대기환경과 대기의 안정도

대기의 안정도는 공기가 스스로 상하 방향의 운동이 일어날 수 있느냐 없느냐에 달려 있다. 공기 덩어리를 연직방향으로 이동시켰을 때 제자리로 돌아오는 공기는 안정한 공기이며, 계속 상승 또는 하강하는 공기는 불안정한 공기이다. 안정도를 판정하는 것은 기상현상을 예측하는데 많은 도움을 준다.

대기의 안정도는 지표 부근의 대기오염물질의 확산에도 영향을 미친다. 즉, 안정한 기층에서는 공기의 상하방향 운동이 일어나지 않고 불안정한 기층에서는 상하방향 운동이 활발하게 일어나므로 안정된 기층에서는 지표 부근의 대기오염물질이 주로 지표 부근에 집중된다. 반면 불안정한 기층에서는 대기오염물질이 대기 상층으로 이동하므로 지표 부근의 오염 정도는 비교적 낮아진다.



〈그림 IV-5〉 안정도에 따른 연기의 확산

〈그림 IV-5〉는 안정도에 따른 굴뚝 연기의 확산 모습을 나타내고 있다. 대기가 안정할 때는 상하운동이 억제되므로 연기는 얇게 퍼지지만, 불안정할 때는 상하로 큰 폭으로 넓게 확산된다.

경계층 속에서 대류에 의하여 상하의 혼합을 받는 층을 혼합층이라고 하며, 그 혼합이 미치는 높이를 혼합고(mixing height)라고 한다. 이 혼합고는 지면의 가열이 지속되는 주간에 높게

발달하게 되어 최고기온이 나타나는 낮에 가장 높다. 그러나 야간에는 접지 역전층에 의해 잔류 혼합층이 남아 있거나 소멸되는 형태를 보이게 된다. 계절에 따라 혼합고는 다르게 나타나는데 봄에 가장 높은 것으로 알려져 있으며 가을, 여름, 겨울의 순으로 높이가 나타난다.

어떤 지역의 대기 오염농도를 결정하는 요인은 배출원에 의한 직접적인 영향과 연직 혼합이 중요하게 영향을 미친다. 즉, 만약 혼합고가 높으면 오염물질은 상하로 혼합이 잘 되어 대기 오염농도를 감소시키고, 혼합고가 낮으면 오염물질은 얇은 층 내에 더 집중된다.

대기 하층에서 대기오염물질의 분산은 대류나 난류에 의한 혼합에 의해 더 잘 일어난다. 혼합이 일어나는 수직범위는 밤과 낮, 계절에 따라 변하며 지형의 영향에 따라 달라지며, 수직범위가 클수록 오염물을 희석시키는 대기의 잠재 확산 부피도 커진다. 이와 같이 오염물이 혼합될 수 있는 최대 수직범위를 최대 혼합고(MMD, Maximum Mixing Depth)라 한다. 대상지역의 최대 혼합고를 추정하는 일은 대기환경 영향평가를 비롯하여 대기오염 농도를 예측하는 수치모델에 이르기까지 대기환경의 제반문제 연구에 그 이용도가 매우 높다.

탐 구 활 동

1 준비물 1 대상 지역의 라디오존데 자료(인터넷), 자, 연필

최대 혼합고 산정

오전 6시(또는 21시)에 관측되어진 라디오존데 관측 자료를 단열선도에 기입하고, 예상되는 낮 최고기온의 공기 덩이가 주위 공기와 혼합 없이 건조단열적으로 상승한다고 가정하여 실제 대기환경곡선과 만나는 교차점의 고도를 추정한다. 이 고도를 그날 오후의 최대 혼합고라 한다.

도시의 경우 교외 지역에 비해 도시 열섬 효과에 의해 최저 기온이 다르게 나타나므로, 이를 보상하기 위해 최저기온에 5℃를 더한 온도로 공기덩이가 주위 공기와 혼합 없이 건조단열적으로 상승한다고 가정하여 대기환경 곡선과 교차하는 점의 고도를 추정한다. 이 고도를 그날의 최저 혼합고라 한다.

우리가 살고 있는 지역의 최근 기온 및 라디오존데 관측 자료를 이용하여 최근 일주일간의 최대 혼합고를 구해보자.

- 1) 기상청 홈페이지에서 최근 일주일 간 우리 지방의 하루 중 최고 기온을 조사해 보자.

일/월						
최고 기온						

2) 웹사이트(<http://www.arl.noaa.gov>)에서는 라디오존데 관측 자료를 이용해 구한 Skew T-log P diagram을 다운로드 받는다.

웹사이트 이용 방법

- ① 웹사이트에 접속하여 (<http://www.arl.noaa.gov>) READY - Archived meteorology를 클릭한다.
- ② 자료를 찾고자 하는 지역의 위도와 경도를 입력하고 Continue를 클릭한다.
- ③ Sounding GDAS(1 deg, 3hourly, Global)를 지정하고 go를 클릭한다.
- ④ GDAS 1 Meteorological File에서 gsas1.NOV10.w1을 지정
- ⑤ 날짜를 조정하고 시간을 06시로 정한 후 하부의 문자를 입력한 후 get sounding를 클릭하면 해당 지역의 Skew T-log P diagram을 출력할 수 있다.

3) 일주일간 우리 지방의 최고 온도를 이용하여 최대 혼합고를 구한다.

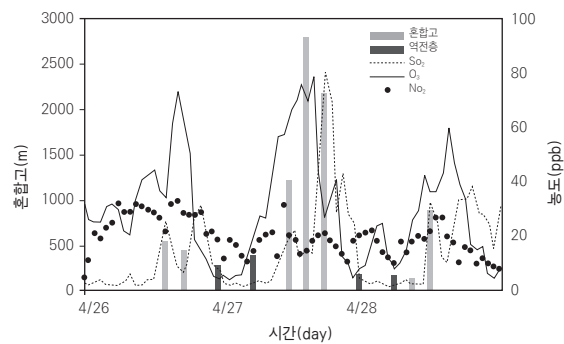
결과 및 토의

1) 최근 일주일간 우리 지방의 최대 혼합고를 구해 보자.

날짜						
최대 혼합고 (hPa)						

2) 관측 기간 동안 최대 혼합고의 변화를 설명하고, 최대 혼합고는 평균 몇 m 높이에서 나타나는지 구해보자.

3) 다음 그림은 상층 관측을 수행한 2003년 4월 26~28일의 시간별 혼합고와 대기오염물질(SO_2 , NO_2)의 농도를 나타낸 것이다.



① 하루 중 최대 혼합고와 역전층은 주로 언제 나타나고 있는지 설명해 보자.

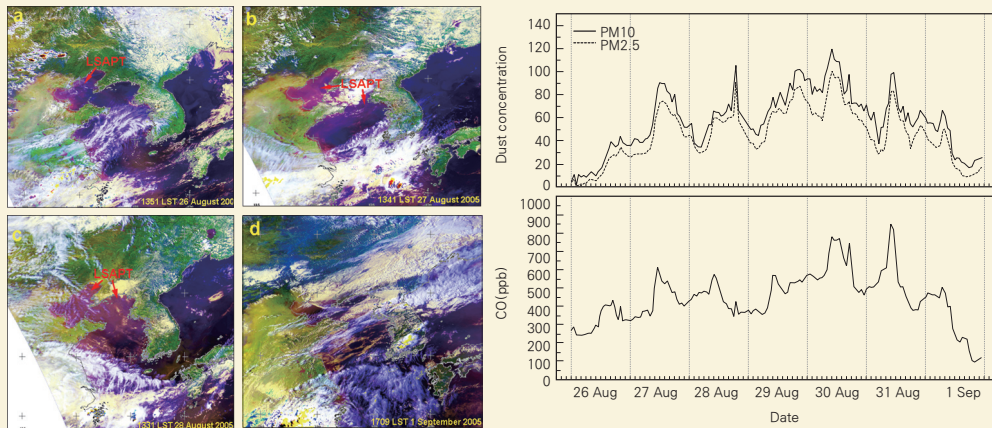
② 최대 혼합고 및 역전층과 대기오염물질의 분포는 어떤 연관성이 있는지 설명해 보자.

4) 위의 결과로부터 최근 일주일간 우리 지방의 오염 물질의 분포가 어떻게 달라졌는지 설명해 보자.



창의 탐구

아래 위성 영상은 2005년 8월 26일부터 9월 1일 사이에 중국 동부지역으로부터 대기오염이 광역적으로 우리나라에 영향을 주고 있는 모습을 나타낸다. 이 기간 우리나라에서는 먼지와 CO의 농도가 증가하였다가 감소하는 모습을 볼 수 있다. 각 날의 최대혼합고가 나타나는 주간에 먼지와 CO의 농도가 최고를 보이는 이유를 설명해 보자.



3

우리나라 주변 해양 환경

우리나라는 3면이 바다로 둘러 싸여 있다. 동해는 좁은 해협을 통해 북태평양과 이어지는 연해로 평균 수심은 1,540 m이고 가장 깊은 곳의 수심은 4,050 m가 되는 깊은 바다이다. 동해 중앙부의 수온은 6~24 ℃, 염분은 33.8%(여름)~34.1%(겨울) 범위에서 변화한다. 동해에서의 해류는 리만 해류와 북한 해류가 남하하고, 동한 난류가 북상하는데, 대체로 강원도 주변 부근에서 만나 울릉도 쪽으로 진행하여 일본 연안에서 대만 해류와 합쳐진다.

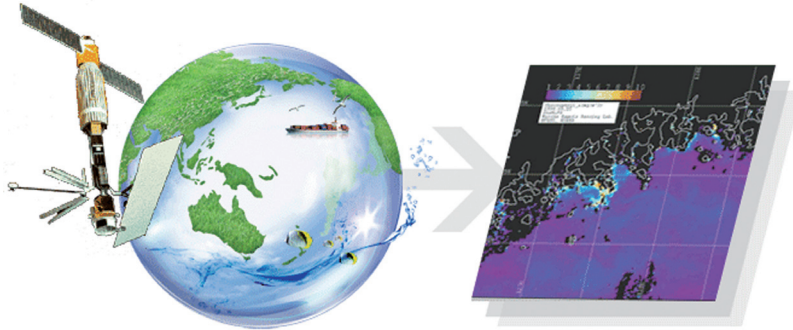
남해는 대한해협 서수도로부터 제주 해협에 이르는 해역으로 동해와 동지나해에 연결된다. 남해 중앙부의 수온은 14~27 ℃ 범위에서 변하고, 염분은 32.0%(여름)~34.0%(겨울) 범위에서 변화한다. 남해에서는 쿠로시오 해류의 지류가 북상하여 대한해협을 지나 동해로 유입되고 있다.

황해는 평균 수심이 44 m인 대륙붕으로 이루어진 바다이다. 수온은 8~27 ℃ 범위에서 변하고, 염분은 31.0%(여름)~32.0%(겨울) 범위에서 변하고 있다. 황해에서의 해류는 조석 현상과 바람의 영향으로 변하고 있어 뚜렷하게 지속되는 해류는 확인되지 않고 있다. 한반도 서해안 남단에서 3.5 m인 조차는 북쪽으로 갈수록 증가하여 인천 부근에서는 약 8 m나 된다. 조류의 유속은 보통 1~1.5 m/s이지만 연안 항구와 섬 사이에서는 2.5~3 m/s에 달한다. 특히 노량 해협에서는 약 5 m/s나 된다.

국립수산과학원에서는 1961년부터 우리나라 주변 해양 환경을 면밀히 조사하고 있다. 총 25개 정선, 207개 정점에서 매년 6회에 걸쳐 수온, 염분, 용존산소, 영양 염류, 동식물 플랑크톤 등 17개 항목에 대해 조사를 벌이고 있다.

해양의 관측에는 위성을 이용한 원격탐사가 많이 활용된다. 원격탐사(remote sensing)는 멀리 떨어져 있는 대상을 물리적인 접촉 없이 관측하는 기술로서, 항공기 인공위성 등에 탑재된 카메라나 스캐너를 이용하여 지표면, 해양, 대기 등으로부터 반사 또는 복사되어 오는 전자파 에너지를 감지하여 그 물리적 성질을 측정·기록·분석함으로써 지표면, 해양, 대기의 환경 특성에 대한 정보를 알아내는 것을 말한다. 인공위성에 의한 원격탐사는 광범위한 해역의 해양수산 정보를 반복적으로 획득하기에 용이하고 컴퓨터를 이용하여 손쉽게 분석할 수 있으며 분석된 정보를 시각적 형태로 제공해 줌으로써 누구나 쉽게 이해할 수 있어 획기적인 해양 환경탐사기법으로 각광받고 있다.

해양원격탐사(marine remote sensing)는 해양을 주기적으로 관측한 위성영상 자료를 이용하여 해류 분포, 해수면 온도 분포, 식물성플랑크톤 분포, 적조 감시, 부유물 분포, 해양오염, 해양기상, 냉수대 감시 등의 정보 등을 알 수 있다.



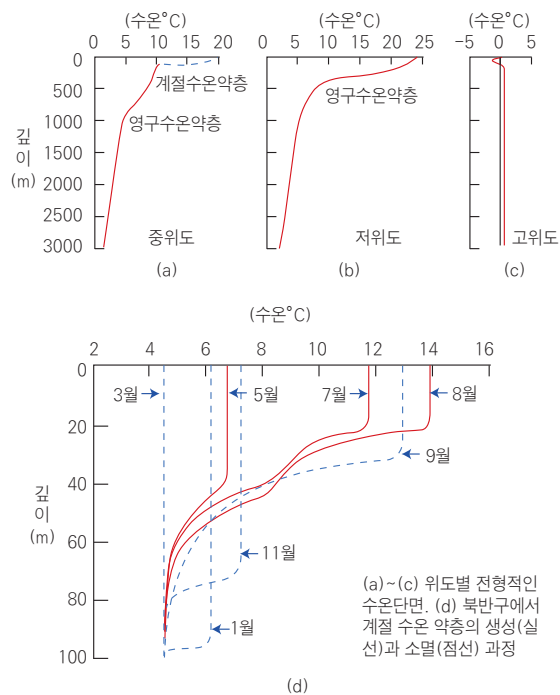
〈그림 IV-6〉 원격 탐사

해양연구원의 원격 탐사실에서는 위성원격탐사를 이용한 동해의 해양 변동에 대한 특성과, 해수 표면수온분포와 적조탐색 연구를 통해 적조 발생의 해역분포 양상과 수온의 분포 양상 간의 관계를 연구하고 있으며, 한국 근해의 해색 특성 및 정량화에 대해 연구를 수행하고 있다.

우리나라는 온대 지방에 위치하므로 주변 해양에는 수온약층이 잘 발달되어 있다. 수온의 연직 분포를 그려 보면, 그 형태의 계절변화를 잘 알 수 있는데, 동해는 수심이 깊고 서해는 얕으므로 수온약층의 특징이 서로 다르다.

동해에는 수온약층이 아래와 위에 두 개가 생기는데, 위의 것은 여름에 생기고 겨울에 사라지므로 계절수온약층이라 하고, 아래의 것은 계절에 관계 없이 항상 존재하므로 영구수온약층이라고 한다. 서해는 수심이 얕은 관계로 영구수온약층이 존재하지 않으며, 여름철에 계절수온약층만이 강하게 나타난다.

계절수온약층과 영구수온약층은 그 형성 원인이 서로 다르다. 계절수온약층은 태양의 가열과 바람의 혼합 작용이 원인으로 〈그림 IV-7〉과 같이 여름철에 주로 나타난다. 해수 표층에 입사하는 햇빛은 물 분자의 산란과 흡수에 의해 빠르게 줄어들어 해



〈그림 IV-7〉 위도 및 계절별 수심에 따른 온도 변화

수의 온도는 수심이 증가함에 따라 급격히 감소한다. 한편, 파도와 해류의 작용에 의해 비교적 수온과 염분이 일정한 혼합층이 표층에 나타나며, 따라서 혼합층의 두께는 바람의 세기와 같은 해수의 혼합에 영향을 미치는 요인에 의해 두께가 변화한다.

영구수온약층은 근원이 다른 두 물이 아래위로 겹칠 때 형성된다.

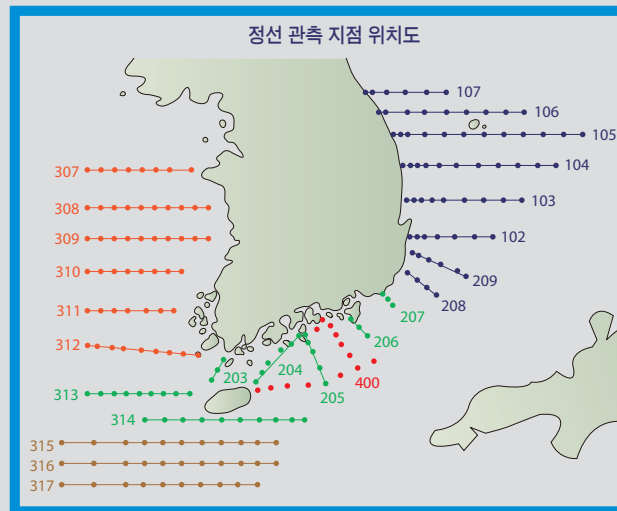
대만 해협이 동해 입구에 가까운 쪽에는 여러 가지 성질이 다른 성층이 결합되어 나타난다. 예를 들면 여름철 저층의 수온은 겨울철보다도 더 낮아지는데, 이것은 주변 저층수의 침입에 의한 결과이다.

탐 구 활 동

! 준비물 ! 인터넷이 가능한 컴퓨터, 그래프 용지

우리나라 주변 해양의 위성 관측 및 정선 관측 자료 해석

국립수산과학원에서는 우리나라 주변의 위성 관측 및 정선 조사 관측 자료를 한국 해양자료 센터(http://kodc.nfrdi.re.kr/page?id=kr_index)를 통해 공개된다. 이 시스템을 활용하면 우리나라 주변의 수온 분포와 더불어 총 25개 정선, 207개 정점에서 매년 6회에 걸쳐 수온, 염분, 용존 산소, 영양 염류 등의 자료를 검색해 볼 수 있다. 자료를 이용하여 우리나라 주변 해양 환경에 대해 알아보자.



- 1) 국립수산과학원의 위성해양 정보 시스템에서 우리나라 주변 해양의 수온 분포를 다운로드 받아 대략적인 등온선을 그리고 수온의 분포를 설명해 보자.
(한국해양 자료 센터-위성해양 정보(위성해양정보시스템)-위성해양 GIS-위성 영상 정보 검색-분석 자료-월 합성 자료)

(2009년 1월)

(2009년 8월)

2) 정선 관측 자료를 활용하여 2008년 12월 13일, 102-06과 309-06 정점의 깊이에 따른 수온과 염분의 연직분포를 각각 그래프로 그려보자.

3) 동해안 정선 (102-10)의 수온의 연중 변화를 그래프로 그려보자.

4) 남해안 정선 314 중 제주도를 기준으로 여름철(8월)에 양쪽, 동편 정점(01,02)과 서편 정점(09,10)의 염분 연직분포를 그려보자.

결과 및 토의

- 1) 우리나라 주변 해양의 여름과 겨울철 수온은 어떻게 다른지 비교 설명해 보자.
- 2) 동해안과 서해안의 수온과 염분 분포를 비교 설명하고, 그와 같은 분포가 나타나는 이유를 설명해 보자.
- 3) 동해안 정선의 연간 수온 분포의 특징을 설명하고 그와 같은 특징이 나타나는 이유를 말해 보자.
- 4) 제주도 인근 해양의 염분 분포의 특징을 설명하고, 해양 환경의 변화가 해양 생태계 등에 미치는 영향에 대해 조사해 보자.



창의 탐구

한국해양자료센터(http://kodc.nfrdi.re.kr/page?id=obs_04_05)에는 1961년부터 관측한 우리나라 주변의 방대한 자료가 수록되어 있다. 이 자료를 이용하여 우리나라 주변의 해양 환경에 대한 연구 주제를 정하고 연구를 진행해 보자.

1) 연구 주제 및 연구의 필요성 :

2) 연구 방법 및 절차 :

3) 연구 결과 요약 :

4) 결론 및 제언 :

4

엘니뇨

일반적으로 남아메리카의 페루 해안에서는 북서쪽으로 흐르는 강한 해류로 인해 용승류가 발생한다. 이 용승류를 따라 심해의 찬 해수와 함께 올라온 영양 염류에 의해서 이곳은 좋은 어장이 형성된다. 그러나 1년에서 3년 정도 지속되는 엘니뇨가 발생하면 페루 해안인 동태평양의 적도 부근의 수온이 높아지면서 영양 염류가 풍부한 찬 해수가 표면까지 올라오지 못하므로 어류의 개체수가 줄어든다.

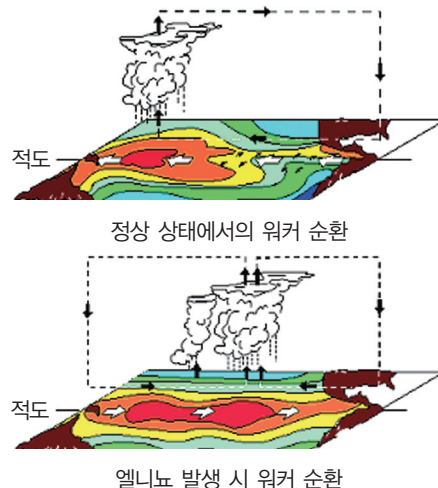
엘니뇨는 수 세기 전부터 페루 어부에게는 알려져 있었지만 과학자들이 엘니뇨가 태평양에서 해류와 수온의 변화로 인해 지구 여러 곳의 기후 변화까지 포함하고 있다는 것을 알게 된 것은 100년도 되지 않았다.

엘니뇨의 발생 주기는 일정하지 않고 2~7년 사이로 불규칙하게 발생하고 있다. 엘니뇨가 한번 발생하면 18개월 정도 지속된다. 지난 50년 동안 큰 엘니뇨는 10회 발생하였으며 발생 기간은 약 10년으로 20%에 해당하는 기간이 엘니뇨가 나타나고 있다. 적도 무역풍의 약화가 엘니뇨 발생에 중요한 요인으로 작용하고 있으며 무역풍의 약화 원인에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다.

1. 워커 순환(Walker circulation)

태평양 적도 부근에서 동쪽 지역은 건조한 기후인 반면 인도네시아와 호주 부근의 서쪽 지역은 습하고 다우 지역이다. 20세기 초 영국의 기상학자 워커(G. T. Walker)는 이런 기후의 차이가 거대한 순환의 결과라는 것을 밝혔다.

서태평양에서 강수가 많은 이유는 공기가 상승하기 때문이고, 상승한 공기는 상층에서 동태평양 쪽으로 이동한다. 이곳에서 공기는 하강하여 지표 부근에서 무역풍을 따라 다시 태평양 서쪽으로 이동



〈그림 IV-8〉 정상 상태와 엘니뇨 발생 시의 워커 순환

한다. 동태평양에서의 건조 기후의 원인은 하강기류 때문이다. 이러한 순환을 워커 순환이라고 한다.

무역풍의 약화와 함께 엘니뇨가 발생하면, 이 워커 순환에 변화가 생긴다. 상승기류가 존재하는 습한 지역이 동쪽으로 이동한다. 서쪽 지역은 비정상적으로 건조해지는데 때에 따라서는 가뭄이 심해지기도 한다. 남아메리카 서쪽 해안지역에는 강수량이 급증하게 된다.

2. 남방진동(southern oscillation)

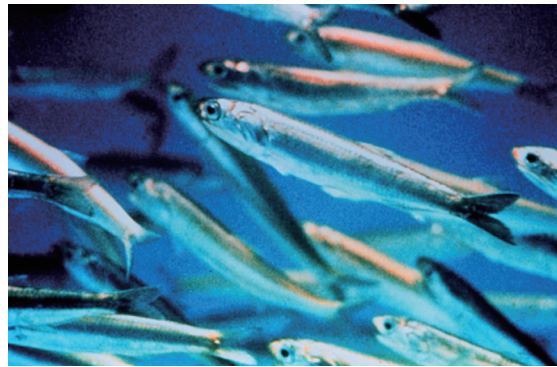
엘니뇨가 발생과 함께 나타나는 적도 태평양에서의 기압 배치 변화를 남방진동이라 한다. 평년에는 워커순환에 보았듯이 하강기류가 존재하는 동태평양에서의 기압이 상승기류가 존재하는 서태평양에서 보다 높다. 그러나 엘니뇨가 발생하면 워커순환이 바뀌듯 기압 배치도 바뀌게 된다. 이런 변화를 수치로 나타낸 것이 남방진동지수인데 남태평양 타히티의 기압에서 호주 다윈의 기압을 뺀 값으로 나타낸다.



〈그림 IV-9〉 타히티와 다윈의 위치

3. 엘니뇨와 생태계

페루 앞바다는 용승류를 따라 표층으로 이동한 영양 염류로 인해 플랑크톤의 성장이 촉진되고 이는 동물성 플랑크톤을 비롯해 작은 해양 생물의 먹이가 된다. 그리고 이들은 페루 어획량의 대부분을 차지하고 있는 엔초비의 먹이가 된다. 엔초비는 가마우지나 펠리컨과 같은 해양 조류나 오징어와 같은 먹이사슬 위에 존재하는 생물의 먹이가 되면서 이 지역에는 풍부한 생태계가 형성된다.



〈그림 IV-10〉 페루 앞바다에서 주로 잡히는 엔초비

엘니뇨가 발생하면 서태평양에서 밀려온 따뜻한 해수가 용승류를 대신하게 된다. 많은 어류들은 찬 해수와 먹이를 찾아 북쪽이나 남쪽으로 이동한다. 이동하지 못한 물고기들은 먹이 부

죽과 수온 상승으로 죽게 된다. 엘니뇨 발생과 함께 남아메리카 서쪽 해안의 많은 강수량 역시 어류에 많은 영향을 준다. 많은 하천수의 유입 때문에 해수의 혼탁도 증가와 염분의 감소 때문이다. 이런 요인들 역시 어류의 개체 수 증가에 부정적인 영향을 준다. 1972년에 발생한 엘니뇨로 인하여 세계 어획량 1위를 자랑하던 페루 수산업이 몰락하기도 하였다.

플랑크톤은 해양의 먹이사슬에 기초가 될 뿐만 아니라 이산화탄소의 분포에도 중요한 역할을 하고 있다. 대기 중의 이산화탄소는 해수 속의 이산화탄소와 평형을 이루고 있다. 플랑크톤의 광합성을 통하여 해수 중의 이산화탄소를 제거하고 산소를 내놓는다. 덕분에 해양은 대기 중의 이산화탄소를 흡수할 수 있다. 만약 플랑크톤이 줄어들면 대기 중의 이산화탄소 농도는 증가할 것이다.

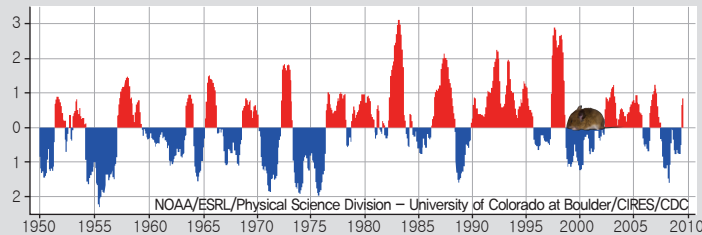
탐 구 활 동

엘니뇨와 지구환경

기상학자들이 많은 연구를 통해 전 세계적으로 수년마다 불규칙하게 발생하는 많은 기상이변이 엘니뇨의 발생과 관련이 있다는 것이 밝혀지면서 엘니뇨란 용어는 전 지구적으로 나타나는 이상기상 현상을 포함한 뜻으로 사용되고 있다. 기상학자들은 적도 태평양의 해수면 온도가 평년보다 0.5°C 이상 되는 상태가 6개월 이상 지속될 때를 엘니뇨가 발생하였다고 정의하고 반대로 적도 태평양 해수면 온도가 평년보다 0.5°C 낮은 상태가 6개월 이상 지속될 때를 라니냐(La Nina)라 정의하고 있다.

1) 기상학자들은 남방 진동수를 이용하여 엘니뇨와 라니냐의 발생을 추론할 수 있다. 남방진동수와 엘니뇨 및 라니냐의 관계를 설명해 보자.

2) 다음 그림은 남방 진동수를 나타낸 것이다. 이 자료로부터 엘니뇨와 라니냐의 발생 연도를 추측해 보자.

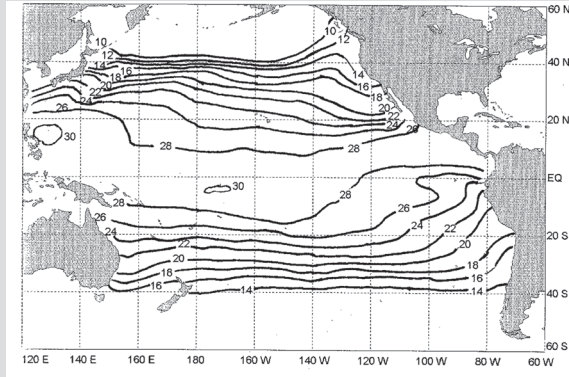


엘니뇨 발생 연도	
라니냐 발생 연도	

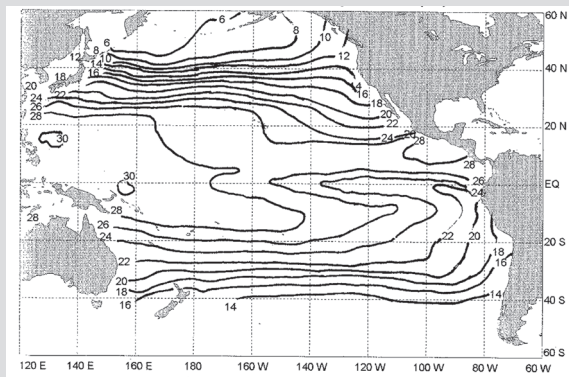
3) 다음은 태평양 부근에서 1987년과 1988년의 수온 분포를 나타낸 것이다. 수온에 따라 주어진 색을 칠해보고 1987년과 1988년 중 엘니뇨가 발생한 해는 언제인지 그 이유와 함께 이야기해 보자.

온도(°C)	28°C 이상	26~28°C	24~26°C	22~24°C	20~22°C	20°C 이하
색	빨간색	주황색	노란색	청색	녹색	보라색

1987년 6월 바다 표면 온도



1988년 6월 바다 표면 온도

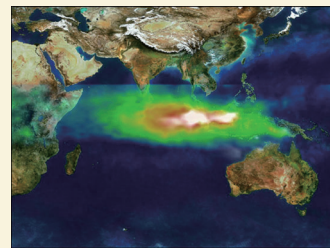


JOL 13 • NO 1 • 1995



창의 탐구

오른쪽 위성사진은 1997년 10월 인도네시아에서 발생한 대형 산불이 장기간 지속되면서 발생한 연기가 주변 나라로 퍼져 나가는 모습을 나타낸 것이다. 많은 기상학자들은 산불이 장기간 지속될 수 있었던 원인으로 그해 발생한 엘니뇨를 지목하고 있다. 기상학자들이 그런 결론을 내린 이유에 대하여 생각해 보자.



5

기후변화에 관한 자료 해석

대기현상은 지구를 둘러싸고 있는 대기의 규칙적인 일변화 및 연변화 현상과 일시적으로 불규칙한 현상과의 복합적인 현상이다. 기후의 일년 주기를 기후년이라고 한다. 기후란 이들의 대기현상이 시간적, 공간적으로 일반화된 것을 말한다. 바꾸어 말하면, 가장 출현 확률이 높은 대기의 종합 상태를 말한다. 기후도 기상도 모두 같은 대기현상이므로 많은 공통점을 가지고 있으나, 기후는 장기간의 대기현상을 종합한 것이고, 기상은 시시각각으로 변하는 순간적인 대기현상을 가리킨다.

19세기에는 기후를 대기의 평균 상태라 정의하고, 기후 요소 관측값의 연, 월 평균값 등의 조합에 의하여 표현하였다. 일사량, 일조시간, 기온, 강수량, 습도, 증발량, 구름량, 기압, 바람 등은 기후를 구성하고 있는 기후 요소이고, 이들 요소의 지역적 특성을 주고 있는 위도, 고도, 수륙분포, 지형, 식생 등은 기후 인자라고 불린다.

지구상의 기후를 세분하는 기준으로서 기온, 강수량, 습도 등의 기후 요소의 평균값, 수분의 과다나 온난지수 및 계수, 기압배치, 기류계 등이 분류 목적에 따라 사용된다. 현재의 기후에 대하여 과거의 기후를 고기후라고 부르며, 특히 관측시대로 들어가기 전의 역사적 시대 이전 또는 지질시대의 기후를 가리킨다. 기후는 지구의 역사와 더불어 변동을 되풀이하여 빙하기, 간빙기 또는 온난한 시대가 있었다. 또, 인류의 활동, 특히 이산화탄소의 증가에 의하여 기후가 변화하는 것도 지적하지 않을 수 없다.

일반적으로 기후 변화는 인간의 활동에 의한 온실효과와 화산 폭발로 인한 성층권 에어로졸의 증가 등의 자연적인 원인에 의한 효과를 포함하는 전체 자연의 평균 기후 변동을 나타낸다. 그런데, 이러한 정의를 복잡하게 만드는 것 중의 하나는 제한된 공



〈그림 IV-11〉 쾨펜의 기후 구분에 따른 우리나라의 기후

간 스케일에서 인간의 활동에 의한 기후의 변화이다.

많은 기후학자들은 최근 기후 변화에 대해 인구의 증가, 산업 활동, 화석연료의 연소 등에 큰 관심을 갖고 있다. 한반도에는 매년 평균 0.3~2.5ppm의 CO₂ 농도가 증가하고 있다. CO₂와 같은 온실기체의 증가가 지역적 그리고 지구적인 기후 변화를 일으키는 주원인으로 밝혀지고 있다. 특히, 고위도에는 더 큰 기후 변화가 일어나고 있다는 관측적 증거가 제시되고 있다.

탐 구 활 동

| 준비물 |

우리나라의 최근 강수량과 기온 변화 분석

1. 다음 표는 1906년부터 1997년까지 우리나라의 연 강수량을 나타낸다. 자료를 이용하여 강수량의 변화에 대해 조사해 보자.

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1900							1033	753	1047	879
1910	1200	1320	1019	831	1211	1279	1639	830	1186	1099
1920	1340	1148	1229	1236	931	1541	1355	1193	1095	887
1930	1476	1338	875	1531	1470	1088	1515	1048	1022	772
1940	1355	1321	1058	890	966	1421	1308	1197	1538	989
1950	1164	1022	1182	1228	1526	1074	1586	1308	1436	1338
1960	1201	1549	1173	1436	1259	1117	1344	1020	1053	1531
1970	1512	1136	1580	1025	1349	1315	1103	1016	1229	1404
1980	1459	1261	971	1201	1272	1667	1180	1513	906	1537
1990	1734	1423	1179	1359	918	1180	1175	1380		

- 1) 표에서 강수량의 변동폭을 구해 보자.
- 2) 연 강수량이 1,500 mm 이상인 해와 900 mm 미만인 해는 각각 전체의 몇 %인가?
- 3) 표의 강수량 자료를 이용하여 1906년부터 1997년까지 강수량의 변동을 그래프로 그리고, 강수량의 변화 경향(mm/year)을 구해 보자.

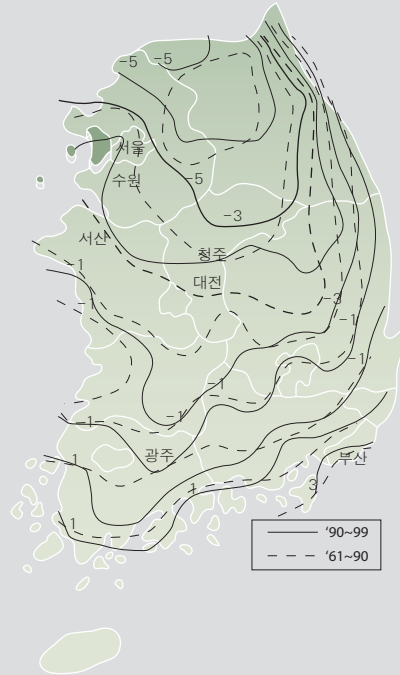
2. 다음 표는 1974년부터 2000년까지 우리나라 9개 지역의 연평균 기온을 나타낸 것이다.

년도	서울	부산	대구	대전	광주	추풍령	강릉	서산	제주
74	11.1	13.6	12.6	10.9	12.5	10.8	11.6	10.7	14.8
75	12.5	14.5	13.5	12.3	13.5	11.9	12.6	12.3	15.7
76	11.4	13.7	12.6	11.4	12.6	11.0	12.4	11.4	14.7
77	12.3	14.2	13.5	12.2	13.4	11.5	12.6	11.9	15.2
78	12.4	14.5	13.6	12.3	13.5	11.7	13.1	12.1	15.5
79	12.4	14.8	13.8	12.4	13.6	12.0	13.6	12.3	15.8
80	10.8	13.3	12.5	11.0	12.3	10.6	12.1	10.7	14.6
81	11.2	13.6	12.9	11.4	12.7	11.1	12.0	10.9	15.0
82	12.5	14.4	13.7	12.5	13.6	12.0	13.1	12.0	15.4
83	12.4	14.3	13.5	12.5	13.5	11.8	12.6	11.9	15.6
84	11.6	13.9	13.2	11.9	13.1	11.2	11.9	11.3	14.8
85	11.6	14.2	13.5	12.2	13.3	11.3	12.7	11.6	15.4
86	11.2	13.7	12.9	11.8	12.7	10.9	11.6	10.9	14.7
87	11.9	14.3	13.7	12.5	13.4	11.5	13.2	11.6	15.4
88	12.1	14.2	13.4	12.3	13.4	11.3	12.8	11.5	15.2
89	13.0	14.9	14.3	13.1	13.9	12.1	13.4	12.3	15.7
90	12.8	15.5	14.6	13.4	14.5	12.3	13.6	12.8	16.4
91	12.3	14.4	13.7	12.6	13.7	11.5	13.0	11.6	15.5
92	12.5	14.8	14.1	12.8	13.7	11.7	13.2	11.9	15.7
93	12.0	14.0	13.4	12.3	13.1	11.2	12.3	11.4	15.2
94	13.5	15.6	15.2	13.8	14.6	12.7	14.1	12.6	16.5
95	12.2	14.5	13.9	12.3	13.4	11.4	13.1	11.6	15.6
96	12.2	14.5	13.7	12.1	13.2	11.4	12.5	11.5	15.7
97	12.9	15.2	14.5	12.8	14.1	11.9	13.5	12.2	16.4
98	13.8	15.8	14.9	13.6	15	12.5	14.1	12.9	17
99	13.2	15.0	14.3	13.0	14.3	12.0	13.9	12.3	16.0
2000	12.7	14.9	14.2	12.4	13.5	11.4	13.5	11.3	15.7

1) 9개 지역에 대해 1974년부터 2000년까지 기온의 변동 그래프를 그리고, 9개 지역의 기온 변화경향(°C/year)을 구해 보자.

2) 9개 지역을 전체 평균, 대도시, 그 외 지역으로 구분하여 1974년부터 2000년까지 기온의 변동 그래프를 그리고, 각 기온 변화경향(°C/year)을 구해 보자.

3. 아열대와 아한대(온대)의 경계는 1년 중 가장 추운달(1월)의 평균 기온이 -3°C 를 기준으로 한다. 다음 그림은 우리나라 1월의 평균 기온이 -3°C 인 등치선을 1961~1990년, 1990~1999년에 대하여 평균하여 나타낸 것이다.



1월 평균 기온이 -3°C 인 등치선

- 1) 1961~1990년과 1990~1999에 우리나라 기후는 어떻게 변화하였는지 설명해 보자.
- 2) 현재 우리나라 남부 지방과 수도권 지역은 각각 어떤 기후구로 분류될 수 있는가?



창의 탐구

1999~2029년의 1월 평균 -3°C 선의 위치를 예측하여 그려보고, 우리나라의 기후가 어떻게 바뀌고 있는지 설명해 보자.

6

화석 연료와 대체 에너지 자원

1978년 영국에서 연방국가로 독립된 투발루는 남태평양의 8개 섬에 1만여 명의 사람이 사는 작고 소박한 섬나라이다. 세계에서 4번째로 작은 섬나라가 세계의 이목을 집중시킨 이유는 최근 급격한 해수면 상승으로 섬 전체가 서서히 침수되고 있기 때문이다.



〈그림 IV-12〉 침수되고 있는 투발루

섬 전체에서 가장 높은 곳이 5 m 정도인 평평한 섬이지만 밀물 때면 바닷물이 3.48 m까지 차오르고 해수면은 1년에 수 cm씩 계속 잠기고 있어 이 추세대로라면 50~60년 후에는 나라 전체가 지구상에서 사라질 가능성도 대두되고 있다.

투발루가 급격히 침수되고 있는 것은 지구온난화로 인한 해수면의 상승에 원인이 있는 것으로 알려져 있다. 지구온난화로 북극이나 그린란드 같은 대규모의 빙하가 녹아내리기 시작하였으며 이로 인하여 남태평양의 해수면이 전반적으로 상승하였다는 분석이다.

산업혁명 이전까지는 온실가스 총량이 일정한 수준을 유지하고 있었으나 산업화, 인구 증가와 더불어 온실가스 농도와 총량이 급격히 변화하여 자연의 평형이 깨지고 있다. 온난화의 주범인 이산화탄소는 대부분 에너지 생산을 위한 석유, 석탄 등의 화석연료 사용과 관련이 깊다.

우리나라 정부에서는 에너지 생산 분야에서 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 방안으로 대체 에너지의 개발 및 이용을 권장하고 있다. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제2조에 의하면 대체 에너지를 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로 정의하고 있다. 재생 에너지로 태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열의 8개 분야와 연료전지, 석탄액화가스화, 수소에너지의 3개 신에너지를 제시하고 있다.

〈표 IV-1〉 우리나라의 신재생 에너지 실용화 현황(한국에너지 기술원, <http://www.kier.re.kr/>)

분야별	주요 이용현황
태양열	가정용 태양열 온수기 176,800여 기
태양광	소규모 도서용 및 특수전원용으로 총 3,240 kW
바이오	산업체 및 농가의 메탄가스 이용 시설 100여 기
폐기물	도시쓰레기 : 목동, 부천, 일산, 다대포 등 31개 소(소각열이용) 산업폐기물 : 520여 개소 폐기물소각열 이용
소수력	23개소 37MW
풍 력	제주지역 등에 7기 약 2,000kW

대체 에너지로서 태양, 조력, 지열 발전에 관한 연구는 이미 많이 이루어져 있으며, 세계 각국에서 실용화되어 실제 에너지원으로 사용되고 있다. 최근에는 유기물(주로 식물체)과 그 유기물을 소비하여 생성되는 모든 생물 유기체(바이오매스)의 에너지를 일상 생활에 필요한 에너지로 전환하는 바이오에너지 기술이 활발히 개발되고 실용화되고 있다. 바이오매스(Biomass)란 생명체를 의미하는 bio와 생물의 양을 의미하는 mass를 결합시킨 용어으로써 태양 에너지를 받은 식물과 미생물의 광합성에 의해 생성되는 식물체·균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물 유기체를 말한다. 이러한 바이오매스를 직접 또는 생·화학적, 물리적 변환 과정을 통해 액체, 가스, 고체 연료나 전기·열에너지 형태로 이용하는 에너지를 바이오 에너지라고 한다. 바이오매스 자원은 곡물, 감자류를 포함한 전분질계의 자원, 초본, 임목과 벚짚과 같은 농수산물을 포함하는 셀룰로오스계의 자원과 사탕수수, 사탕무와 같은 당질계의 자원뿐만 아니라 동물의 배설물, 사체와 음식 쓰레기 등을 포함한다.



〈그림 IV-13〉 폐목재를 이용하여 만든 바이오연료(펠릿)

지구상에서 1년 동안 발생하는 바이오매스의 추정 통계량은 1,550억 톤으로, 이는 전체 석유 매장량과 비슷한 규모인 것으로 추정되고 있다. 이 가운데 식물이 가장 많은 부분을 차지한다. 바이오 에너지는 원료가 되는 바이오매스에 따라 바이오 에탄올, 바이오 부탄올, 바이오 디젤 등의 액체연료와 수소, 메탄 등의 기체연료로 나눌 수 있다.

〈표 IV-2〉 주요 바이오매스 원료의 종류 및 바이오 에너지 종류

주요 바이오매스	바이오 에너지	용도
전분질계(옥수수, 감자 등) 당질계(사탕수수, 사탕무 등) 목질계(간벌재, 폐목재 등)	액체연료(에탄올, 부탄올) 고체연료 합성가스	수송용 연료 난방 연료 메탄올
축산 분뇨, 음식 쓰레기, 유기성 폐수 등	메탄	지역냉난방, 발전연료
유채식물, 대두, 해바라기, 미세조류 등	디젤	수송용 연료
유기성 폐수, 슬러지 등	수소	연료

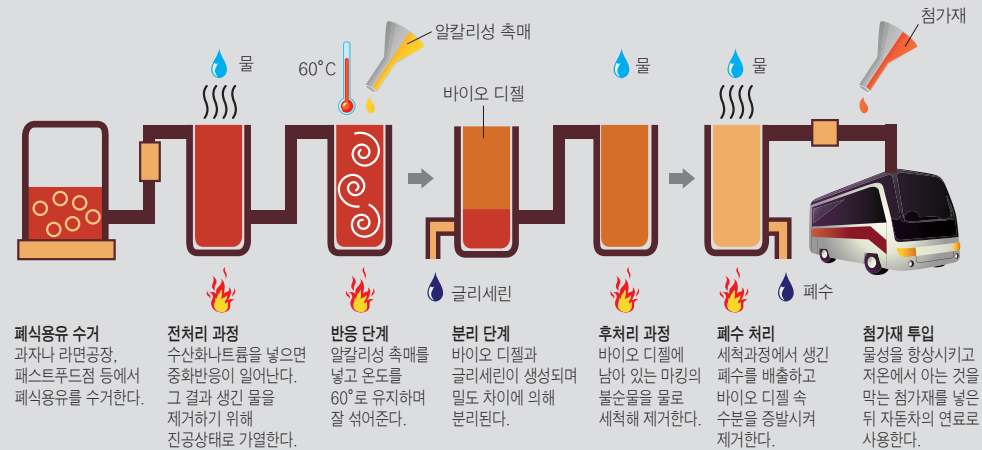
탐 구 활 동 (1)

Ⅰ 준비물 Ⅰ 폐식용유, 메탄올, KOH, 알코올램프, 비커

폐식용유를 이용한 재생에너지(바이오 디젤) 만들기

바이오 디젤(BD, Bio Diesel)은 폐식용유나 쌀겨 등 식물성 오일을 원료로 하여 만들어진 친환경 제품으로 대체 에너지 촉진법상 대체 에너지로 인정된다. 바이오 디젤은 경유와 일정 비율을 혼합하여 실제 버스, 트럭 등의 운송 수단의 연료로 사용되고 있다.

바이오 디젤은 다음과 같이 몇 가지 공정을 거쳐 제작된다. 가정에서 버려진 폐식용유를 이용하여 실제 바이오 디젤을 만들어 보자.



- 1) 폐식용유를 약 800 mL 정도 준비한다.
- 2) 메탄올 : 200 mL와 KOH 9 g을 혼합하여 촉매를 만든다.
- 3) 폐식용유를 55° 정도로 가열한다.
- 4) 가열한 폐식용유에 미리 만들어 놓은 촉매를 넣고 5~10분 정도 교반한 후 4시간 정도 방치한다.
- 5) 층이 생기면 위층과 아래층이 혼합되지 않게 서로 분리한다. 아래층은 글리세린이다.
- 6) 위층을 거른 용액에 물 100 mL 넣고 5분 정도 교반하고 10~15분 정도 방치한다.

7) 아래층에 흰색 침전물이 가라앉으면 윗 층을 조심스럽게 분리해 낸다.

8) 5)~7) 과정을 4회 정도 반복한다.

※ 주의사항 : 탐구실험에서 만든 바이오 디젤은 위험할 수 있으므로 안전하게 처리해야 한다.

결과 및 토의

- 1) 탐구 활동에서 만든 바이오 디젤을 최종적으로 연료로 사용하기 위해서는 어떠한 과정을 더 거쳐야 하는지 알아보자.
- 2) 바이오 디젤 에너지가 지구환경에 어떤 기여를 할 수 있는지, 또는 다른 문제를 일으킬 가능성은 없는지 조사해 보자.
- 3) 바이오 디젤 에너지를 상용화하기 위해서는 어떤 문제가 해결되어야 하는지 생각해 보자.
- 4) 바이오 디젤 외에 다른 바이오 에너지를 조사해 보고, 어떤 장점과 문제점이 있는지 알아보자.

태양광 발전 시설 설계 및 제작

태양광을 이용한 발전설비는 일상생활에서 흔하게 찾아볼 수 있다. 태양광 발전은 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지를 이용하여 태양광을 직접 전기 에너지로 변환시키는 기술이다. 태양광 발전시스템은 태양전지(solar cell)로 구성된 모듈(module)과 축전지 및 전력변환장치(인버터)로 구성되어 있다.

태양전지는 태양빛이 P형 반도체와 N형 반도체를 접합시킨 태양전지에 쏘여지면 태양빛이 가지고 있는 에너지에 의해 태양전지에 정공(hole)과 전자(electron)가 발생한다. 이때 정공은 P형 반도체 쪽으로, 전자는 N형 반도체 쪽으로 모이게 되어 전위차가 발생하면 전류가 흐르게 되는 것이다.

인버터는 태양전지에서 생산되는 직류를 교류로 변환하여 전력 계통에 공급하는 역할을 한다. 또 축전장치는 전력설비에서 생산된 전기를 일시적, 장기적으로 저장하여 일사량이 적을 때나 심야시간대에 전력 부하량을 담당할 수 있도록 하는 장비이다.

현재 다양한 크기와 용량의 태양전지가 개발되어 널리 사용되고 있으며, 이들을 이용하면 간단한 소형 전자 장비를 구동시킬 수 있는 태양광 발전 설비의 제작이 가능하다.

- 1) 태양광 발전을 이용하여 만들고자 하는 전자 장비를 창의적으로 고안하고 설명해 보자.

2) 위와 같은 전자 장비를 구동시키기 위해서 필요한 물품과 부품의 종류와 사양을 조사해 보자.

물품 또는 부품명	규격	필요한 수량	기타

3) 태양광 발전 장비를 직접 제작하여 구동시켜 보고 어떤 장점과 문제점이 있으며, 이에 대한 대책은 무엇인지 생각해 보자.



창의 탐구

우리 주변에서 바이오 에너지 등 다양한 방법으로 대체 에너지를 생산할 수 있는 방법이 있는지 찾아 보고 에너지 효율의 측면에서 그 가능성을 조사해 보자.



V

우주 속의 지구



[단원 안내]

인류가 지구상에 나타난 이후 밤하늘과 우주는 신비의 대상이었으며, 오늘날까지도 인간은 우주의 신비를 알아내기 위해 다양한 과학적 시도를 하고 있다. 하지만 현재까지 알려진 우주에 관한 지식은 극히 미미한 것이며, 우주의 광활함은 인간을 압도하고 있다.

인간의 끊임없는 호기심과 상상력은 우주의 신비를 규명하기 위해 새로운 수학적 방법과 물리적 개념을 도입하게 하였고, 혁신적인 과학·기술로 새로운 관측 기기와 우주 탐사선을 만들어 우주의 신비에 도전할 수 있게 만들었다.

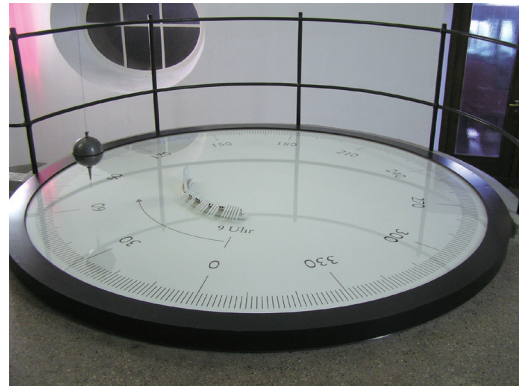
이 단원에서는 우주를 탐사하기 위한 천문학적 지식과 천체 관측을 위한 탐구 방법 등을 익히고, 천체 관측의 도구인 천체 망원경과 디지털 카메라와 냉각CCD를 이용한 다양한 탐구 활동을 할 것이다. 이러한 탐구 활동 중 일부는 CLEA와 같은 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 통하여 이루어지기도 하지만 과학계 고등학교들이 보유하고 있는 천체 망원경과 디지털 카메라와 냉각CCD를 직접 이용하여 탐구 활동을 진행할 수도 있다.

이러한 탐구 활동을 통하여 태양과 태양계 가족, 별의 물리적 성질과 운동 등에 대하여 알아보고, 별의 탄생과 진화 등을 H-R도의 특성을 통하여 탐구하도록 하자. 은하의 특성과 분류, 허블법칙을 통하여 우주의 과거와 미래를 다양한 우주론을 통하여 알아보기로 하자.

1

푸코진자

지구가 하루에 1회 자전한다는 사실은 누구나 알고 있는 사실이다. 천체나 태양이 동에서 떠서 서로 지는 현상으로부터 우리는 지구가 자전한다는 사실을 간접적으로 확인할 수 있다. 옛날 사람들도 천체의 움직임을 관찰했을 것이다. 그럼에도 불구하고 행성을 비롯한 모든 천체가 지구 주위를 회전한다는 천동설이 오랫동안 인정을 받아온 이유는 무엇일까? 그것은 지구가 자전하지 않고 천체가 지구 주위를 회전해도 같은 현상이 발생할 수 있기 때문이다.



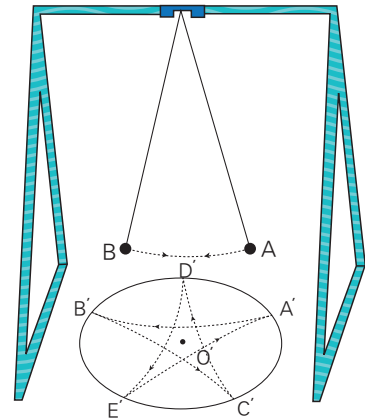
〈그림 V-1〉 독일박물관의 푸코진자

그렇다면 지구가 자전한다는 것을 어떻게 알 수 있을까?

1852년 푸코(Foucault)는 파리의 판테온 사원 천장에 길이 67 cm의 철사줄에 28 kg의 추를 매달고 진동시켰다. 그 결과 추의 진동면이 지면에 대해 시계 방향으로 서서히 돌아 32시간 만에 한 바퀴 회전하는 것을 확인하고 지구가 자전한다는 것을 증명하였다.

푸코진자에서 공기에 의한 마찰력을 무시하면 진자에는 실의 장력과 중력만 작용하므로 진자는 관성에 의하여 처음 진동한 방향으로 계속 진동하려고 할 것이다. 하지만 지구 자전에 의하여 회전 원판이 회전함에 따라 진자의 진동면이 상대적으로 회전하는 것처럼 관측된다.

북위 φ 인 지점에서 그림과 같이 지면에 받침대를 설치하고 그 위에 진자를 매달아 자유롭게 진동하게 한다. 그러면 이 진자의 운동은 위도 φ 인 지점에 설치한 회전원판 내에서의 운동으로 바꾸어 생각해 볼 수 있다. 진자는 일정한 범위 내에서 주기적인 진동운동을 하며, 지구상을 움직이는 다른 물체와 마찬가지로 지구 자전에 의한 전향력이 작용한다.



〈그림 V-2〉 푸코진자(진자의 이동경로는 실제보다 과장하여 표현하였음)

처음 A'점에서 중심 O로 향하는 진자는 전향력 때문에 오른쪽으로 편향되어 B'점에 이른다. 여기서 일단 정지한 후 다시 전향력 때문에 C'점에 이른다. 즉, 진자는 왕복 운동 하는 사이 A'-B'-C'로 이동하였음을 알 수 있다.

그런데 사실은 진자의 진동면이 회전하는 것은 아니다. 전향력과 마찬가지로 실제 진자의 진동면에는 변화가 없지만 지면에 있는 관측자가 보기에 진자의 진동면이 회전하는 것처럼 보이는 것이다.

위도 φ 인 P지점에서 진자를 남북 방향 A-B로 진동시켰다고 가정하자. 그러면 각 지점에서 지구의 회전 때문에 생기는 선속도는 아래와 같이 주어진다.

$$V_A = \overline{AA'}\omega = r\cos(\varphi - \Delta\varphi)\omega$$

$$V_B = \overline{PP'}\omega = r\cos\varphi\omega$$

$$V_C = \overline{BB'}\omega = r\cos(\varphi + \Delta\varphi)\omega$$

따라서 P점에 대한 A, B점에서의 상대 선속도는

$$V_A - V_P = -\omega r \Delta\varphi \sin\varphi$$

$$V_B - V_P = \omega r \Delta\varphi \sin\varphi$$

이다. 여기서 $\Delta\varphi$ 는 아주 작기 때문에 $\sin\Delta\varphi = \Delta\varphi$, $\cos\Delta\varphi = 1$ 로 두었다. 이렇듯 A, B점이 P점에 대해 서로 반대로 움직여 회전이 발생한다.

반경이 $r\Delta\varphi$, 회전속도 $V = |V_{AP}| = |V_{BP}|$ 인 원판의 회전 주기는 $T = \frac{2\pi r \Delta\varphi}{V}$ 이므로,

진자의 운동면이 360° 회전하는데 걸리는 시간 T_0 는,

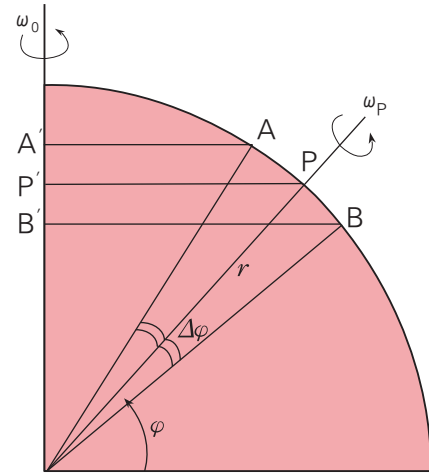
$$T_0 = \frac{2\pi r \Delta\varphi}{\omega r \Delta\varphi \sin\varphi} = \frac{2\pi}{\omega \sin\varphi}$$

이다. 여기서, $\omega = 2\pi/24$ (rad/hr) 이므로

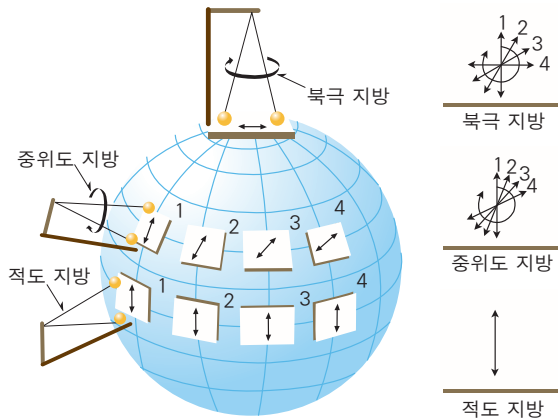
$$T_0 = \frac{24}{\sin\varphi} \text{ [hr]}$$

로 나타낼 수 있다.

즉, 위도 30° 인 지방에서 진자의 진동면 회전 주기는 48시간이며, 극지방에서는 24시간, 적도에서는 ∞ 이다.



〈그림 V-3〉 푸코진자의 회전주기



〈그림 V-4〉 푸코진자의 회전 주기

〈표 V-1〉 위도에 따른 푸코진자의 회전 주기

장소	진동면의 회전방향	회전 주기
북극	시계 방향	24시간
30°N	시계 방향	48시간
적도	회전하지 않음	—
남극	반시계 방향	24시간

탐구 활동 (1)

준비물 | 지구본, 두꺼운 종이(A4), 각도기

위도에 따른 진동면의 회전 주기 측정

북극 지방에 푸코진자를 설치하여 진동시키면 진자의 진동면은 시계 방향으로 회전하여 진동을 시작한 지 24시간 후에는 원래의 상태로 남북 방향을 가리키며 진동할 것을 예측할 수 있다. 진자의 진동면 회전 주기는 어느 위도에서나 항상 24시간일까? 지구 모형을 이용하여 위도에 따른 푸코진자의 회전 주기를 구해 보자.

- 1) 사진과 같은 화살표를 만들어 지구본의 경도 0°, 위도 0°인 지방에 설치한다.
- 2) 지구본을 반시계방향으로 90도 회전시킨 후 경도 90°E, 위도 0°인 지방의 천정에 시선을 두고 경도 0°, 위도 0°인 지방에 설치한 화살표와 평행하게 다른 화살표를 설치한다.
- 3) 지구본을 반시계방향으로 돌리면서 경도 180°, 90°W에 대해서도 같은 실험을 반복한다.
- 4) 화살표와 경도선이 이루는 각을 각각 측정하여 기록한다.
- 5) 위도 30°, 40°, 60°에 대해서도 같은 실험을 반복한다. 이때 시선의 위치는 항상 화살표를 설치하는 지방의 천정에 위치해야 한다.



결과 및 토의

1) 화살표가 가리키는 방향과 경도선이 가리키는 방향은, 관측지의 지표 방위와 진자의 진동면 중 각각 무엇을 의미하는가? 이에 답하였다면 진동면의 회전방향이 이론과 일치하는지 확인하시오.

2) 경도가 다른 곳에 화살표를 평행하게 설치하는 이유는 무엇인가?

3) 위도에 따라 경도선과 화살표가 이루는 각을 측정하여 기록해 보자.

경도 위도	0°	90°E	180°	90°W	0°
0°					
30°N					
45°N					
60°N					

4) 위도에 따른 푸코진자의 회전주기를 구하고 그래프로 나타내 보자.

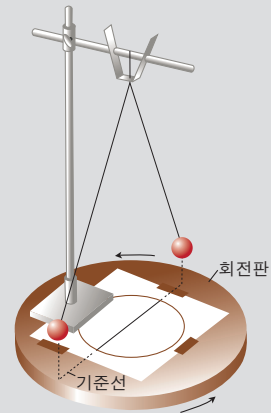
위도	0	30°N	45°N	60°N
회전주기				

5) 위도에 따라 푸코진자의 회전 주기가 어떻게 변하는가? 이론값과 비교하여 설명해 보자.

푸코진자의 진동면 회전을 이용한 회전판의 각속도 측정

앞의 탐구활동에서 우리는 푸코진자의 진동면 회전은 회전원판의 각속도와 관련이 있다는 것을 알 수 있었다. 우리 지방에 푸코진자를 설치하고 회전 주기를 구하면 이를 이용하여 우리 지방의 위도를 구할 수 있을 것이다. 간단한 푸코진자 모형을 이용하여 회전판의 각속도를 구해 보자.

- 1) 그림과 같이 간이 푸코진자를 만든 다음 회전판을 돌리지 않은 상태에서 진자를 흔들어 흰 종이에 진동 방향을 표시한다.



- 2) 회전판을 일정한 속도로 돌리면서 일정한 시간 간격으로 흰 종이 위에 진동방향을 표시한다.

- 3) 진동면의 회전 속도를 달리하면서 회전주기와 회전각속도의 관계를 알아보자.

결과 및 토의

1) 일정한 시간 간격으로 진동면의 회전각을 측정하여 표에 기록해 보자.

시간					
회전각					

2) 회전판 위와 밖에서 관찰한 진자의 진동 방향은 각각 어떻게 다른지 생각해 보자.

3) 진자의 진동면 회전 주기는 얼마인가?

4) 실험 결과를 이용하여 회전판의 회전각 속도를 구해 보자.

5) 푸코진자 모형이 실제 푸코진자라면 위도 몇 도인 지방에 설치한 것일까?

6) 실제 푸코진자를 만들어서 지구의 자전을 증명하려면 푸코진자는 어떠한 조건을 갖추어야 하는지 생각해 보자.



창의 탐구

판테온 신전에 있던 푸코진자의 진동면은 32시간에 1회 회전하였다. 판테온 신전의 위도를 구해 보자.

2

시간



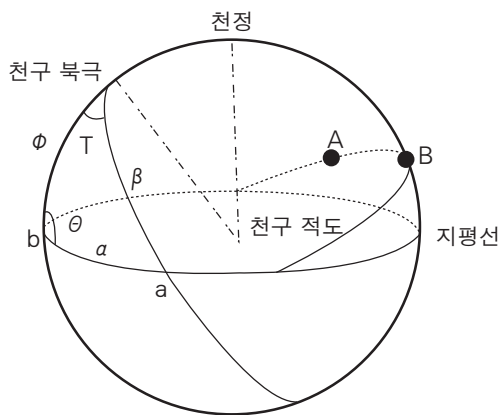
〈그림 V-5〉 양부일구

세종 때 혜정교와 종묘 앞에 설치되어 있던 공중 시계인 양부일구는 솔처럼 생긴 오목해시계로 시반과 영침 그리고 시반을 받치고 있는 받침대로 이루어져 있다. 영침은 북극을 향하도록 설치되어 있으며, 시반은 시각선과 절기선으로 구성되어 시간과 동시에 절기를 알려주는 달력 구실을 하였다.

양부일구와 마찬가지로 세계 각국에는 다양한 종류의 해시계가 발명되어 사용되었다. 이집트는 해시계를 B.C. 10~8세기부터 만들어 사용하였는데 이는 아주 원시적인 형태로 연직 막대 밑에

눈금용 돌을 놓은 형태로 이루어져 있었다.

해시계는 태양을 어떻게 투영하느냐에 따라 다양한 형태의 해시계가 있다. 팽이형 해시계는 북극을 향한 막대의 중간에 원판을 꿰뚫어놓고 그 원판 상에 막대와의 교점을 중심으로 15°씩 눈금을 매겨 막대의 그림자가 원판의 1눈금을 경과할 때를 1시간으로 읽는 것이다.



〈그림 V-6〉 해시계에서 태양의 운동

수직형은 북극을 향한 삼각판의 그림자가 가리키는 건물의 벽면에 새겨진 눈금으로 시각을 읽는다. 수평형 해시계는 시반을 지평면에 평평하게 설치하고 중심에 북극을 향한 막대기를 설치한 것으로 시각 눈금의 간격도 일정치 않다.

수평형 해시계의 시각 눈금 간격이 일정하지 않은 이유는 무엇일까? 〈그림 V-6〉과 같이 태양은 천구의 적도와 평행하게 일정한 속도로 일주운동 한다. 하지만 해시계의 그림자는 지평면을 따라 이동하므로 시간 간격이 일정하지 않게

된다.

A에 있던 태양이 T시간 후 B의 위치로 이동하여 남중하였다고 가정하자. 이때 나무 막대의 그림자는 a에서 b만큼 이동하며, α 가 해시계의 시반면에서 12시와의 눈금 간격을 나타내는 것이다.

구면 삼각법의 코사인 법칙에 의하여

$$\cos\alpha = \cos\beta\cos\phi + \sin\beta\sin\phi\cos T \quad \cdots\cdots(1)$$

또

$$\cos\beta = \cos\phi\cos\alpha + \sin\phi\sin\alpha\cos\theta$$

이고, $\theta = 90^\circ$ 이므로

$$\cos\beta = \cos\phi\cos\alpha$$

이다. 또 사인법칙에 의하여

$$\frac{\sin\beta}{\sin\theta} = \frac{\sin\alpha}{\sin T}$$

$$\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{\sin T}$$

이므로 식(1)은

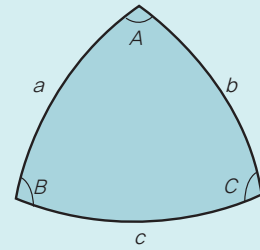
$$\begin{aligned}\cos\alpha &= \cos\alpha\cos^2\phi + \sin\alpha\sin\phi\cos T/\sin T \\ \cot\alpha &= \cot\alpha\cos^2\phi + \sin\phi\cot T \\ (1-\cos^2\phi)\cot\alpha &= \sin\phi\cot T \\ \sin^2\phi\cot\alpha &= \sin\phi\cot T \\ \cot\alpha &= \cot T/\sin\phi \\ \therefore \tan\alpha &= \sin\phi\tan T\end{aligned}$$

이다. 예를 들어, 위도 $\phi=37.5^\circ$ 인 지방에서 11시와 12시 사이의 눈금 간격은

$$\begin{aligned}\tan\alpha &= \sin 37.5^\circ \tan 15^\circ \\ \therefore \alpha &= 9.09^\circ \text{이다.}\end{aligned}$$

[참고] 구면삼각법

구의 중심을 통과하는 평면과 구가 만나서 생기는 원을 대원이라고 부른다. 대원호가 교차되어 만든 각을 구면각이라고 한다. 그림과 같이 호 a, b, c 는 대원호이고, $\angle A, \angle B, \angle C$ 구면각이다. 구면삼각형에도 다음과 같은 코사인법칙과 사인법칙이 존재한다.



코사인법칙 : 구면삼각형의 변을 a, b, c 라고 하면 변의 길이와 구면각은 다음과 같다.

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos C$$

사인법칙 : 구면삼각형에서 두변과 마주보는 두 각 사이에는

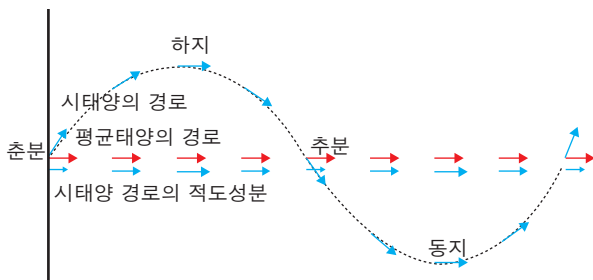
$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c}$$

우리가 사용하는 시계는 태양의 운동을 기준으로 하는 태양시이다. 태양시에서는 태양의 남중주기를 24시간으로 설정하는데 이는 지구의 공전으로 인하여 실제 지구의 1회 자전 시간보다 약 4분 정도가 더 길다.

그런데 지구의 공전궤도가 타원이므로 실제 태양의 운동 속도는 일정치 않다. 케플러의 제3법칙에 의하면 지구는 근일점에 위치한 동지 무렵에 공전 속도가 가장 빠르고, 원일점에 위치한 하지 무렵에 공전 속도가 가장 느리다. 더욱이 지구의 공전궤도면이 지축에 대해 약간 기울어 있기 때문에 태양은 항상 적도를 따라 운동하지 않는다. 따라서 실제 태양의 겉보기 운동을 기준으로 한 시태양시(視太陽時)는 일정하지 않아 사용하는데 여러 가지 문제가 발생한다. 우리가 사용하는 시계는 천구 적도를 따라 일정한 속도로 이동하는 가상의 태양을 기준으로 한다. 이러한 시간을 평균 태양시라고 하는데 실제 태양을 기준으로 한 시간과는 약간의 차이가 생긴다.

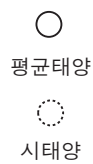
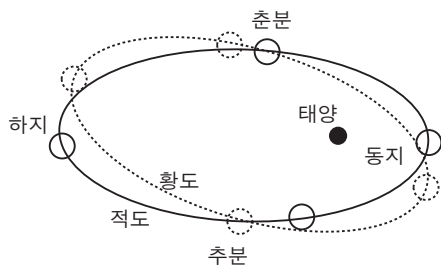
평균 태양시와 시 태양시와의 차이를 균시차라고 하며 시태양시에서 평균 태양시를 뺀 값이다. 즉,

$$\text{균시차} = \text{시태양시} - \text{평균 태양시}$$



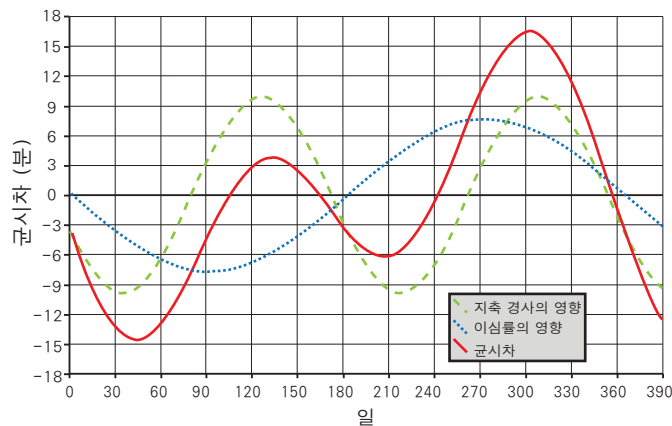
〈그림 V-7〉 균시차의 원인(황도 경사)

균시차를 야기하는 두 원인이 각각 어떻게 작용하는지 살펴보자. 우선, 황도경사의 영향만 고려할 때, 춘분날 시태양 경로의 적도 성분은 평균 태양의 경로보다 작다. 이러한 차이는 계속 누적되어 증가하다가 춘분과 하지 사이에서 최댓값에 이른다. 이후 시태양 경로의 적도 성분은 평균태양의 경로보다 크므로 차이가 점차 감소하여 하지에는 0이 된다. 따라서 황도경사에 의한 균시차는 춘, 하, 추, 동 지점에서 0이며, 춘분과 하지 사이, 추분과 동지 사이에서 최댓값, 하지와 추분 사이, 동지와 춘분 사이에 최솟값을 가진다.



다음으로 타원공전궤도의 영향만을 고려하면, 하지 무렵에 시태양과 평균 태양의 위치가 같다고 할 때, 하지를 지나면서 시태양의 속도가 평균 태양보다 느리므로 시태양이 나중에 남중하고, 평균 태양과 시 태양 사이에 차이가 생긴다. 이 차이는 추분까지 계속 증가하다 추분에 최댓값을 가진다. 추분이 지나면서 다시 감소하여 동지 무렵에 이르면 0이 된다.

〈그림 V-8〉 균시차의 원인(타원공전궤도)



〈그림 V-9〉 균시차

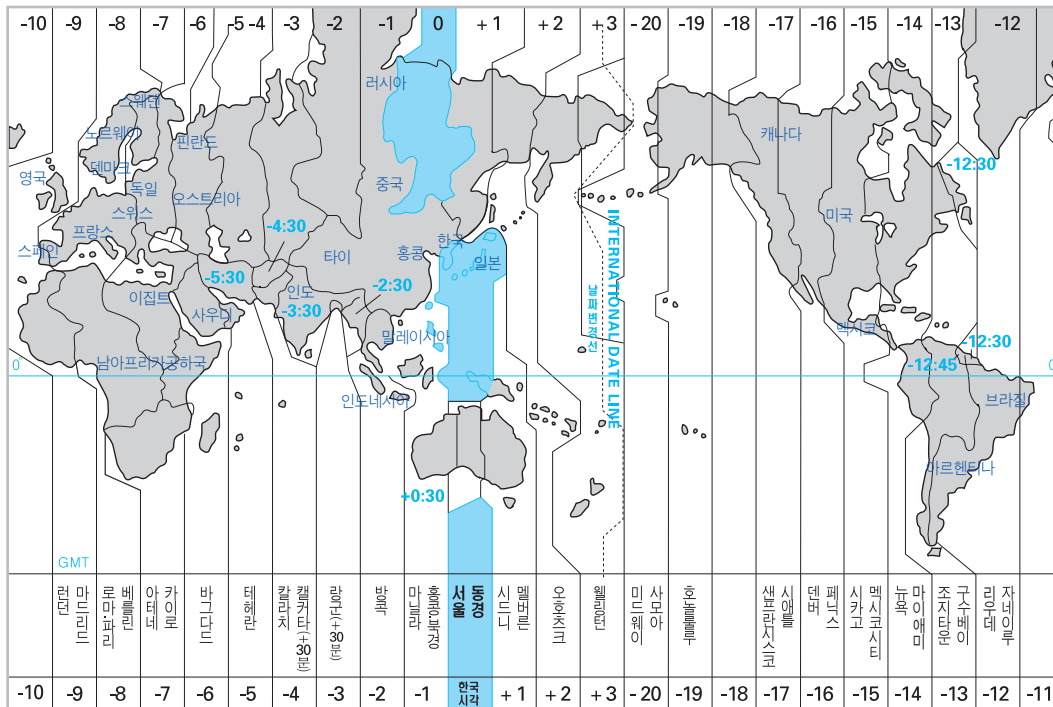
균시차에 영향을 미치는 두 효과는 동시에 극대, 극소가 되는 일은 일어나지 않으므로 이 두 효과를 합치면 그림처럼 복잡한 모습으로 나타난다. 균시차는 10월경에 +15분으로 최댓값을 가진다. 이 날 시태양은 평균 태양보다 15분 빠른 11시 45분에 남중한다.

태양시는 태양이 남중하는 시각을 12시로 한다. 그런데 일남중 시각은 같은 나라에서도 경도에 따라서 달라진다. 예를 들면 인천에서 태양이 남중하는 시각에 독도에서는 아직 남중이 이루어지지 못한다. 따라서 인천의 지방 평균시와 독도의 지방 평균시는 서로 다르게 된다. 그러나 한 나라에서 이와 같이 각기 다른 시각을 쓴다면 매우 불편하므로, 대개는 어떤 특정 지방의 평균시를 취하여 전국이 공통으로 쓰게 되는데, 그것을 표준시라고 한다.

한국에서는 현재 동경 135°의 지방 평균시를 표준시로 채택하고 있다. 조선 시대에 동경 120°를 표준 자오선으로 했던 것을 1910년(융희 4년) 4월 1일 종래의 11시를 12시로 고침으로써 동경 135°의 지방 평균시를 택한 것이다. 따라서 한국의 표준시는 동경 127°의 지방시보다 32분 빠르게 되어 있다.

한국 표준시는 그리니치 표준시보다 9시간이 빠르다. 예를 들어, 한국이 지금 0h 00 m이라면, 그리니치 표준시는 하루 전날인 15h 00 m이다. 또한 한국의 서쪽인 싱가포르와 말레이시

표준자오선은 경도를 기준으로 15° 간격으로 설정된다. 하지만 국가 간에 협조에 의해 다소 변경이 있거나 통합하여 사용하기도 한다.



탐구활동 (1)

수평형 해시계 만들기

- 1) 두꺼운 종이에 지름 20 cm의 원을 그린다.
- 2) 원의 중심으로부터 5 cm 거리에 막대기를 비스듬하게 세운다. 이때 막대와 종이와 이루는 각은 해시계를 설치하는 지방의 위도와 같게 한다.

3) 각 시별로 12시 눈금과 이루는 각을 구하여 원의 가장 자리에 시계의 눈금을 그려 넣는다.

시간	6시	7시	8시	9시	10시	11시	13시	14시	15시	16시	17시	18시
눈금 간격												

4) 해시계의 나무 막대가 북극성을 가리키도록 설치하고 시간을 읽어보자.

결과 및 토의

(1) 해시계의 나무 막대를 북극성 방향으로 설치해야 하는 이유가 무엇인지 생각해 보자.

(2) 나침반을 이용하여 해시계의 나무 막대가 북극성을 가리키도록 하려면 어떠한 점을 고려해야 하는가?

(3) 해시계가 가리키는 시간과 시계의 시간을 비교해 보자. 차이가 생기면 그 이유가 무엇인지 알아보자.

해시계							
시계							
차이							

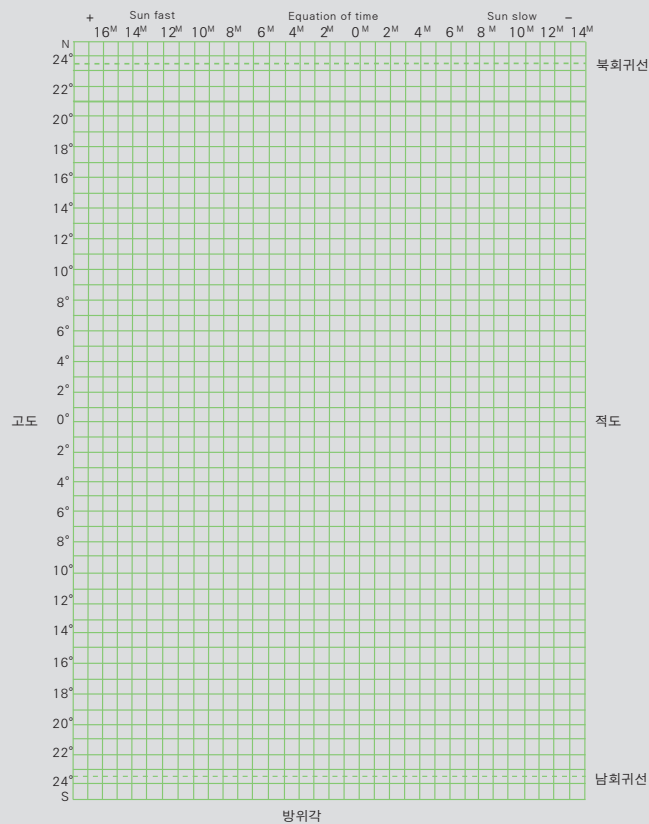
Analemma와 균시차

균시차로 인하여 실제 태양이 매일 남중하는 시간은 일정치 않다. 즉 매일 같은 시간에 태양의 방위각과 고도를 측정하여 보면 그 값이 일정하지 않다는 것을 추론할 수 있다. 매일 정오 무렵에 태양의 위치는 어떻게 변하고 균시차와는 어떤 공통점이 있을까?

- 1) 한국 천문 연구원 홈페이지(www.kasi.re.kr)에 접속하여 천문우주정보지식-태양의 방위각과 고도 계산에서 서울에서 매월 15일 12시 32분에 태양의 방위각과 고도를 조사해 보자.

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
방위각												
고도												

- (2) 아래의 그래프에 매월 15일에 태양의 위치를 표시해 보자.



결과 및 토의

- 1) 태양의 방위각과 고도는 어떻게 변화하였는가?
- 2) 태양의 방위각과 고도가 위와 같이 변하는 이유를 균시차와 관련지어 설명해 보자.
- 3) 태양의 방위각과 고도 변화에 또 다른 어떤 요인이 영향을 주고 있는지 설명해 보자.



창의 탐구

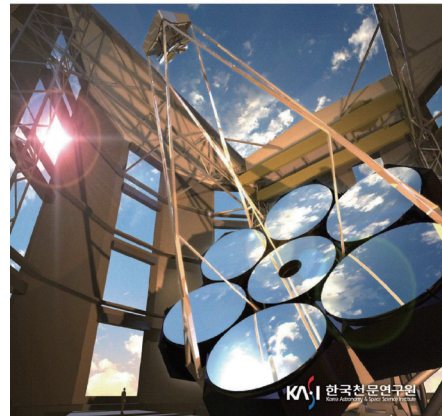
- (1) 균시차를 일일이 보정하지 않는 해시계를 고안하고 설계해 보자.

3

역서 탐구

한국천문연구원에서는 매년 역서를 편찬, 발간하고 있다. 역서는 조선 전기 대통력이라는 이름으로 최초 발간되었으며, 이후 시헌력, 명시력 등 다양한 변화를 거쳐 해방 이후 태양력을 기준으로 한 현대 역서가 발간되면서 현재에 이르고 있다.

현재 천문연구원에서 발간하는 역서에는 각 지역의 해와 달 그리고 행성의 출몰 시각, 천문 현상, 음·양력 대조표 등 일반 국민들이 필요로 하는 여러 천문 관련 자료 등과 더불어 태양과 달의 일별 위치(적경, 적위), 여러 물리적 관측 자료(거리, 시반경, 수평 시차), 측정 관측을 위한 일별 자료, 군사차 자료, 달에 의해 별이 가려지는 월성식(月星食)에 관한 자료, 달 표면도, 역 관련 자료로서 음력에 관한 설명들을 수록하고 있다.



〈그림 V-11〉 역서(천문연구원)

〈표 V-2〉 역서에 수록된 내용

일력 자료	- 일월식 등의 천문 현상, 시간별 태양의 고도와 방위각 수록
각 지방의 일월출몰 및 박명 시간	- 대덕전파천문대 등 전국 82개 지역에서 태양의 일출몰 자료 수록
시간 자료	- 세계시와 항성시 자료 수록
인천만의 조석표	- 인천만의 조석간만 자료 수록
태양	- 태양의 운동 및 궤도 자료, 태양의 위치와 관측 자료
달	- 달의 운동 및 궤도 자료, 달 표면도, 월성 식표, 달의 위치와 관측 자료
행성	- 행성 위치 및 등급, 배치도, 행성위성 자료등
주기혜성	- 주기 혜성의 궤도 요소 및 관측 자료
항성	- 별자리표 및 UBVRI 표준성 등

행성 자료에 대해서는 이해를 돕기 위해 여러 종류의 그림 자료를 제시하여 연중 행성의 위치와 출몰 및 관측 가능한 시간대를 쉽게 알아볼 수 있도록 하고 있다. 역서는 책으로 발간되지만 한국천문연구원에서는 홈페이지(<http://www.kasi.re.kr>)를 통하여 1년 전까지의 과거 역서를 열람할 수 있도록 자료를 제공하고 있다.

탐 구 활 동 (1)

준비물 | 인터넷, 그래프 용지

역서의 행성 자료 해석

역서에는 연간 태양과 달, 행성의 출몰 시간과 밝기 등의 자료가 수록되어 있다. 또 다년간의 역서를 조사하면 행성의 위치가 어떻게 변화하는지 알 수 있다. 1년 동안 태양과 금성의 출몰시간을 조사하여 금성은 언제 어느 방향에서 관찰 할 수 있는지 알아보고, 또 다년간의 역서를 참고로 하여 행성의 회합주기를 구해보자.

1) 2010년 금성이 뜨는 시간과 지는 시간을 조사하여 그래프로 나타내보자.

(1) 서울에서 일출몰 시간(천문 박명 시간)을 조사하여 위의 그래프에 표시하고, 금성을 관찰할 수 없는 곳은 음영으로 표시해 보자.

(2) 2010년 1년 중 금성을 관찰할 수 있는 시기는 언제이며, 관찰 가능 시간과 관찰되는 방향은 어디인가 조사해 보자.

(3) 역서에서 금성의 연간 등급 분포를 조사하여 위의 결과와 어떤 관련이 있는지 설명해 보자.

2) 역서에서 여러 해의 행성 자료를 조사하여 다음에 대해 알아보자.

(1) 최근 3년 동안 3개월 간격(금성은 1개월 간격)으로 금성, 화성, 목성, 해왕성이 남중하는 시간을 조사하여 그래프로 나타내보자.

(2) 행성이 공전궤도 상에서 지구와 상대적으로 같은 위치에 돌아올 때까지 걸린 시간을 회합주기라고 한다. 위의 자료에서 각 행성의 회합주기를 구해보자.

(3) 행성의 궤도 반지름과 회합주기의 관계를 그래프로 그리고 설명해 보자.

역서의 달 자료 해석

역서에는 또한 달에 관한 자료가 수록되어 있다. 달의 출몰 및 위상에 대한 자료와 더불어 연간 달의 시직경의 변화를 알아낼 수 있다. 역서에 수록되어 있는 달의 시직경 자료를 이용하여 달 궤도에 대한 정보를 알아보자.

1) 2010년 중 약 2개월에 걸쳐 달의 시직경을 조사하여 그래프로 그려보자.

(1) 달의 시직경이 위와 같이 변하는 이유가 무엇일까?

(2) 타원궤도의 납작한 정도를 이심률 e 이라고 한다. 그림과 같은 타원궤도의 경우에 타원의 중심으로부터 초점까지의 거리는 ae 이다. 위의 자료를 이용하여 달 궤도의 이심률을 구해보자.



창의 탐구

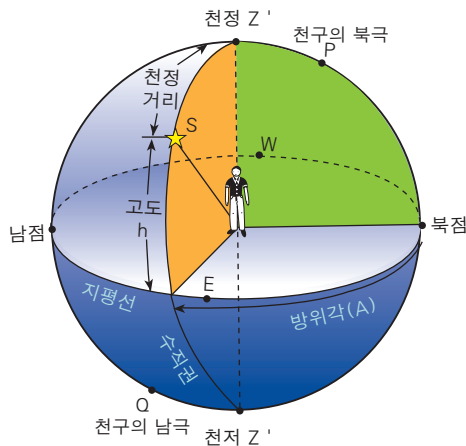
한국천문연구원에서 발간한 역서의 자료를 이용하여 연구 주제를 정하고 연구를 진행해 보자.

4

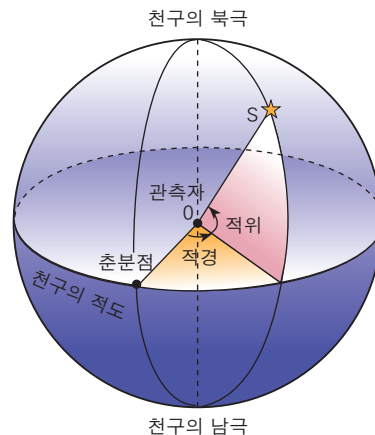
태양의 방위각과 고도 변화

하루 동안 별 혹은 태양의 위치를 관찰해 보면 시시각각 그 위치가 변하는 것을 알 수 있다. 천체의 위치를 표시하는 데에도 좌표계가 사용되며, 주로 사용되고 있는 것이 지평 좌표계와 적도 좌표계이다.

지평 좌표계는 관찰자의 지평면과 이 면에 수직한 수직권을 축으로 하여 천체의 위치를 정하는 손쉬운 좌표 표시 방법이다. 지평 좌표에서 천체가 지평면과 이루는 각을 고도라고 하며, 방위각은 북점 또는 남점을 기준으로 천체를 지나는 수직권이 이루는 각을 시계 방향으로 측정한 것이다.



〈그림 V-12〉 지평 좌표

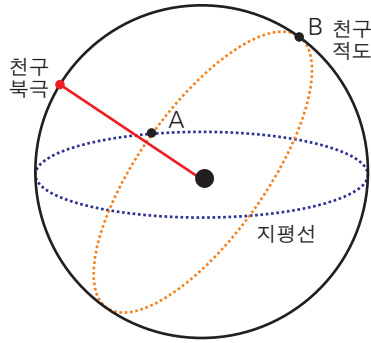


〈그림 V-13〉 적도 좌표

천체의 방위각과 고도는 관측자의 위치에 따라 다르며, 일주운동 때문에 천체의 지평좌표는 시시각각 변하여 실제 항성의 위치를 표시하는 데는 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 그러나 태양이나 행성의 위치를 손쉽게 측정할 수 있고 일출, 일몰을 계산하는데 편리하게 사용된다.

지평 좌표계와 더불어 천체의 위치를 나타내는 다른 방법이 적도 좌표계이다. 적도 좌표계는 황도와 적도의 교점 중의 하나인 춘분점으로부터 적도면을 따라 반시계 방향으로 0~24h로 나타낸 적경과 적도면을 기준으로 양극 방향으로 0~ $\pm 90^\circ$ 로 나타낸 적위로써 천체의 위치를 표시한 것으로, 기준점이 천체와 함께 운동하므로 좌표값이 변하지 않는 장점이 있다.

〈그림 V-14〉에서 위도 37°인 지방에서 춘분날 정오에 A점에 있는 천체의 위치를 지평좌표와 적도 좌표에 나타내면 〈표 V-3〉과 같다.

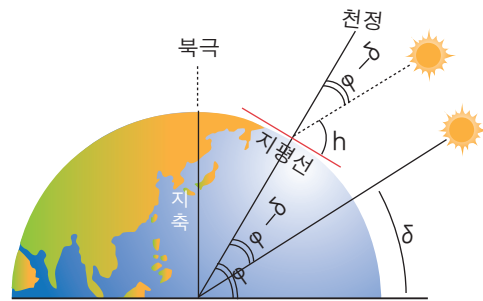


〈그림 V-14〉 천구상 A의 위치

〈표 V-3〉 A점에 있는 천체의 좌표

좌표	지평좌표		적도좌표	
	방위각	고도	적경	적위
A	90°	0°	6h	0°
B	180°	53°	0h	0°

천체의 방위각과 고도를 정밀하게 측정하기 위해서는 경위의를 사용한다. 방위각을 측정하기 위한 수평눈금의 고리가 있으며, 그 위에 회전할 수 있는 작은 자오의가 있다. 이 자오의로 항성이 자오선을 통과하는 시각을 측정한다. 또 수직눈금으로 천정거리($90^\circ - \text{고도}$)와 천체의 위치나 지점을 정확히 잴 수 있다. 경위의란 말은 경위도를 구할 수 있다는 뜻에서 붙여진 이름이다.



〈그림 V-15〉 남중고도

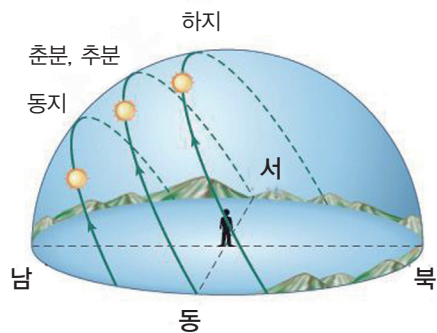
천문대에 설치하는 정밀한 것부터, 삼각을 이용하여 휴대할 수 있는 소형의 것 등 다양하다. 흔히, 측량기사가 사용하는 트랜짓(transit)은 그 원리와 구조가 경위의와 같으나, 장치나 정밀도가 더 간단하다.

하루 동안 태양의 방위각과 고도를 측정하여 보면 북점을 기준으로 할 때 태양의 방위각은 낮 동안 계속 증가하며, 고도는 정오 무렵까지는 증가하고, 그 이후에는 다시 감소한다. 태양의 고도가 가장 높을 때는 태양이 남쪽 자오선에 위치할 때이며, 이때를 남중 고도라고 한다.

태양의 남중 고도는 관측자의 위도와 태양의 적위에 따라 달라진다. 즉, 관측 지점의 위도를 φ , 태양의 적위를 δ 라고 할 때 태양의 남중 고도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta$$

그러므로, 우리나라(위도 37°)에서는 하짓날 태양의 남중고도는 76.5°이다. 한편 동짓날에는 29.5°로 하짓날에 비해 약 47°가 낮다.



〈그림 V-16〉 춘·하·추·동의 태양의 일주 운동 경로

태양이 떠오르는 곳의 위치는 계절에 따라 다르다. 그림과 같이 춘분과 추분에 태양은 정동쪽에서 떠오르지만, 하지에 태양은 적도보다 북쪽으로 23.5°치우쳐져 있기 때문에 태양은 북동쪽에서 떠오른다. 한편 동지에 태양은 남동쪽에서 떠올라 남서쪽으로 진다.

따라서 태양이 떠오르는 지점의 방위각은 춘분과 추분에는 북점을 기준으로 90°이다. 하짓날 태양이 떠오르는 위치는 구면삼각형의 사인 법칙에 의해

$$\frac{\sin 23.5}{\sin(90^\circ - \varphi)} = \frac{\sin x}{\sin 90^\circ}$$

$$\therefore \sin x = \frac{\sin 23.5}{\sin(90^\circ - \varphi)}$$

이다. 즉, 위도 37.5°인 지방에서 x는 약 30°로 하짓날 일출시 태양의 방위각은 60°이다.

탐 구 활 동 (1)

| 준비물 | 그래프용지

태양의 방위각과 고도 변화

지구의 자전으로 인하여 태양의 방위각과 고도는 계속 변화한다. 또 지구의 자전축이 기울어져 있으므로 방위각과 고도의 변화량은 날짜에 따라 다르다. 한국천문연구원(<http://www.kasi.re.kr>) 홈페이지의 천문우주지식 포털을 이용하여 특정 지방에서 태양의 방위각과 고도의 변화를 알아볼 수 있다.

- 1) 천문연구원 홈페이지에서 춘분, 추분, 하지, 동지 때 하루 동안 태양의 방위각과 고도가 어떻게 변하는지 알아보자.

자료 입력 방법

- 시각 : 방위각과 고도를 알아보기 위한 날짜와 시간을 입력한다. 하루 동안 방위각과 고도를 알아보면 날짜만 입력해도 된다.
- 지역 선택/위치 입력 : 우리나라에서 태양의 방위각과 고도를 알아보고자 하는 지역을 선택한다. 우리나라가 아닌 다른 지역에서 태양의 방위각과 고도를 알아보려면 위치 입력에 경도와 위도를 입력한다.



- 출력 범위 : 알아보려는 하는 태양의 방위각과 고도값을 선택한다.
 - 하루의 태양 위치 자료 : 24 시간 동안 태양의 방위각과 고도 변화 그래프 및 값이 출력된다.
 - 요청 시간의 태양 위치 자료 : 입력된 날짜와 시간에 해당하는 태양의 방위각과 고도값이 출력된다.
 - 한 달간 같은 시간의 태양 위치 자료 : 한 달 동안 매일 같은 시간에 태양의 방위각과 고도값이 출력된다.

결과 및 토의

1) 춘분, 하지, 추분, 동지에 하루 동안 태양의 방위각과 고도가 어떻게 변하는지 그래프로 나타내보자.

2) 하짓날과 동짓날 태양의 최고 고도는 각각 얼마인가? 이와 같은 차이가 생기는 이유는 무엇일까?

3) 춘분, 추분, 하지, 동짓날 일출과 일몰 시 태양의 방위각이 어떻게 다른지 표로 나타내보자. 이와 같은 차이가 생기는 이유는 무엇일까?

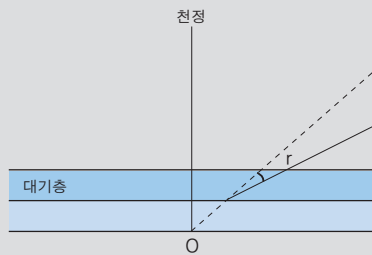
	춘분	하지	추분	동지
방위각				
고도				

태양의 남중 고도를 이용한 관측지의 위도 측정

태양이 남중했을 때의 고도는 관측자의 위도와 태양의 적위와 관련이 있다. 하루 동안 태양의 방위각과 고도를 측정할 수 있는 기구를 고안하고 이를 이용하여 태양의 남중 고도를 측정하면 위의 원리에 따라 관측자의 위도를 알아낼 수 있을 것이다.

- 1) 여러 가지 재료를 사용하여 태양의 방위각과 고도를 측정할 수 있는 장치를 개발하여 제작한다.
- 2) 제작한 방위각, 고도 측정기를 이용하여 12시를 기준으로 전, 후 각각 2시간, 총 4시간 동안 일정한 시간 간격으로 태양의 방위각과 고도를 측정하여 그래프를 그리고, 이를 이용하여 태양의 남중 고도를 계산한다.
- 3) 대기 굴절에 의한 고도의 변화값을 보정한다.

별 빛은 지구 대기에 의해 굴절되어 그림과 같이 아래쪽에 있던 천체가 마치 위쪽에 떠있는 것처럼 관측된다. 따라서 실제의 천정거리 Z 는 관측에서 얻어진 천정거리 Z' 에 의해 굴절효과를 보정하여야 한다.



그림에서

$$Z = Z' + r$$

$$r = 60.43 \times \left(\frac{p}{1013} \right) \left(\frac{273}{T+273} \right) \times \tan Z'$$

이다. 여기서 대기 굴절각 r 은 천체의 자오선 통과 시 기압(hPa)과 기온 $T(^{\circ}\text{C})$ 와 천정거리를 알면 구할 수 있다.

- 4) 관측지의 위도를 결정한다.

결과 및 토의

1) 제작한 방위각 고도 측정기의 설계도를 그리고, 사용법을 설명해 보자.

2) 12시를 기준으로 2시간 동안 일정한 시간 간격으로 태양의 방위각과 고도를 측정하여 표에 기록해 보자.

측정 시각						
방위각						
고도						

3) 태양의 방위각과 고도 변화를 그래프로 나타내보자.

4) 태양의 고도 변화에 적합한 함수를 찾고, 이를 미분하여 미분값이 0이 되는 점을 찾아 태양의 남중 고도를 구해보자.

5) 관측 당시의 기압과 기온을 이용하여 대기에 의한 굴절을 보정해 보자.

구분	관측값(Z)	기온(°C)	기압(hPa)	대기굴절보정치(r)	보정값
자료					

6) 역서에서 관측 당시 태양의 적위를 조사하고, 관측 값을 이용하여 관측 지점의 위도를 구해 보자.

5

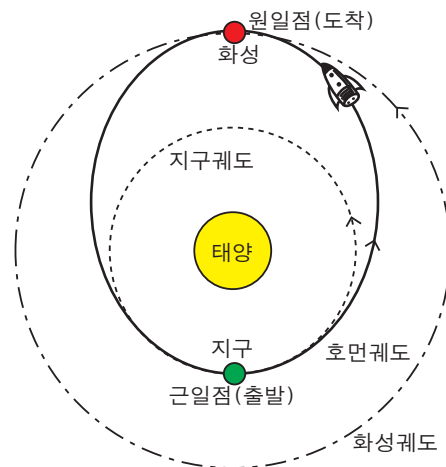
우주 탐사와 태양계

독일의 윌터 호먼 박사는 1925년 '천체 도달의 가능성'이라는 논문에서 행성탐험에 관한 비행 방법과 궤도의 계산에 대한 새로운 아이디어를 제시했다. 호먼은 지구가 태양을 도는 공전 궤도와 탐험하려고 하는 행성의 공전궤도를 타원으로 연결하는 새로운 비행궤도를 만들어 비행할 것을 제안했는데, 이를 호먼궤도라고 한다. 이 새로운 타원 비행궤도는 태양의 중력과 궤도운동에 대한 케플러의 법칙들을 이용하여 행성의 공전 에너지를 이용해 우주선을 최소의 에너지로 다른 행성에 보내는 것이기 때문에 최소 에너지궤도라고도 불린다.

행성들의 공전궤도가 각각 지름이 다른 원궤도라고 가정하자. 지구의 궤도와 화성의 궤도가 같은 평면 상에 있다고 하면 지구에서 화성으로 우주선이 출발할 때의 지구의 위치와 우주선이 화성에 도착했을 때의 화성의 위치는 태양을 중심으로 서로 180° 떨어져 있어야 한다. 결과적으로 이 궤도는 태양을 중심으로 한 타원궤도의 근일점이 지구의 궤도와 만나고, 원일점이 화성의 궤도와 만나는 형태가 된다.

이 궤도를 비행하려면 지구의 궤도에서 탈출한 뒤 우주선이 화성을 향해 달릴 때의 속도가 32.73 km/s 가 돼야 한다. 그런데 우주선을 지구의 공전방향과 같은 방향으로 발사하면 32.73 km/s 의 속도를 만들 때 지구의 공전속도인 29.78 km/s 를 가지고 발사되므로 우주선은 지구의 공전 방향과 같은 방향으로 2.95 km/s 의 속도만 주면 32.73 km/s 의 속도로 화성으로 갈 수 있다.

케플러의 제2법칙, 즉 '행성이 운동하면서 행성과 태양을 잇는 직선이 동일 시간에 만드는 면적은 일정하다'에서 나타난 것처럼 근일점에서는 속도가 빨라지고 원일점에서는 느려지게 된다. 여기서 장축(major axis)은 타원궤도(근일점에서 원일점까지)에서 긴축의 총 길이이다. 호먼궤도의 경우 장축의 길이는 $1.52 + 1.0 = 2.52 \text{ AU}$ 이다. 그러므로 장반경은 장축의 반($1/2$)에



〈그림 V-17〉 호먼궤도

해당하는 길이인 셈이다. 지구 근처에서 우주선의 속도가 32.73 km/s이므로 화성에 접근할 때는 21.5 km/s 가량 된다. 우리는 장반경의 길이를 알고 있으므로 케플러의 제3법칙으로부터 이 우주선의 궤도 주기는 $1.26^{3/2}=1.41$ 년임을 알 수 있다. 그런데 이 주기는 궤도 전체(지구에서 화성 그리고 다시 지구까지)에 대한 총 주기이므로 우리가 알고자하는 지구에서 화성까지 가는 데 걸리는 시간은 약 $1.41/2(\text{년})=0.71$ 년이 된다. 그래서 비행하는 데 걸리는 시간은 260일 정도로 호먼궤도를 이용한 화성으로의 여행은 다음과 같이 설계할 수 있다.

탐 구 활 동

호먼궤도를 이용한 화성의 탐사

사람들은 항상 미지의 세계를 탐색하는데 매료되어 있다. 많은 공상과학 소설 속에서 인간의 호기심의 대상이었던 화성이 이러한 탐사의 중심에 서 있는 것은 당연한 것이다. 실제로 화성에 도달하기 위해서는 매우 어려운 일이다.

- 1) 호먼궤도는 2개의 동일한 평면상의 궤도 사이에 전송하는 가장 연료 효율이 좋은 경로이다. 화성과 지구의 궤도는 동일 평면상에 있는 원궤도로 가정하자. 그러면 지구에서 화성으로 가는 호먼궤도는 다음 <그림 1>과 같은 타원궤도가 된다. 케플러 1, 2, 3법칙을 이용하여 아래 표를 완성해 보자.

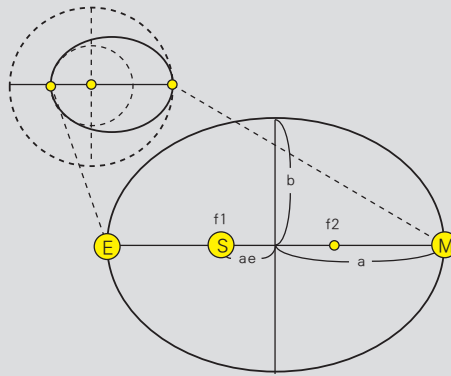


그림 1 타원의 성질(호먼궤도)

	궤도장 반경(a)	공전 주기(P)	공전 속도(km/s)	원일점	근일점
지구	1AU	1년			
화성					
호먼궤도					
	이심률(e)		근일점 속도:		원일점 속도:

2) 탐사선이 화성에 도달하기 위한 시간은 공전 주기의 절반이 필요하다고 한다. 화성까지 도달하는데 필요한 시간을 구해 보자.

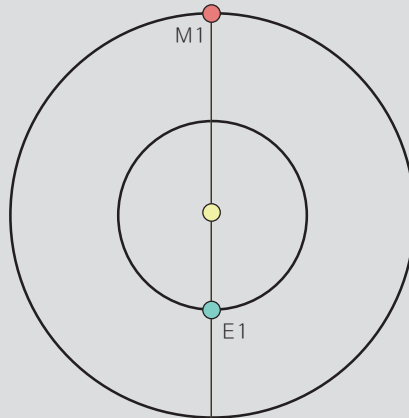


그림 2 화성으로 출발하기

3) 호먼궤도를 이용하여 화성으로 가기 위해서는 현재 지구의 위치는 <그림 2>처럼 호먼궤도 상의 근일점에 위치해야 한다. 탐사선 도착 시 화성의 위치는 <그림 2>처럼 현재 지구의 반대쪽 원일점에 위치해 있어야 한다.

(1) 탐사선이 호먼궤도를 따라 화성(M1)에 도달하기 위해서는 <그림 3>과 같이 지구(E1)와 화성(M)이 위치할 때 탐사선이 출발해야 한다. 이 때 화성과 지구가 이루는 각 θ_1 은 얼마나 되어야 하는가?

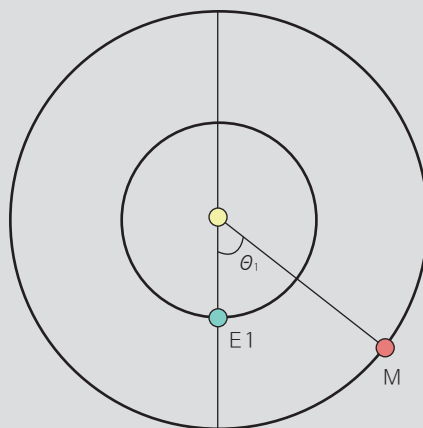


그림 3 화성에서 지구로 귀환하기

(2) 지구와 화성이 <그림 3>과 같이 배열하는 가장 가까운 시기를 회합 주기를 이용하여 구해보자.
가장 가까운 출발 일자 언제인가?
화성에 도착하는 날짜는 언제인가?

4) 화성에 도착한 우주인들이 지구로 되돌아오기 위해서도 역시 호먼궤도를 이용하는 것이 가장 경제적이다. 화성에 도착하게 되면 언제라도 지구로 되돌아올 수 있는 것은 아니다. 탐사선이 화성(M1)에 도착하면 지구는 <그림 4>처럼 E2에 위치하게 된다. 호먼궤도를 이용하여 지구로 돌아오기 위하여 지구(E1)와 화성(M2)이 서로 반대 방향인 근일점과 원일점에 위치해야 한다.

(1) 우주인이 호먼궤도를 이용해 지구로 귀환하고자 할 때, 화성에서 얼마나 머무른 후 출발해야 하는지 구해 보자.

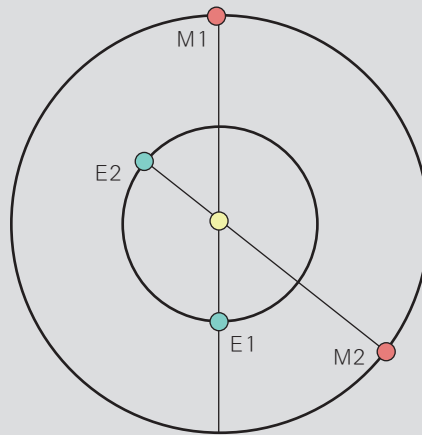


그림 4 화성 도착 시 지구의 위치

(2) 화성에 일정 기간 머문 우주인이 호먼궤도를 이용하여 지구로 돌아오려 한다. 화성에서 우주선이 출발할 때 지구(E3)와 화성(M3)의 위치를 <그림 5>에 나타내 보자.

가장 가까운 출발일자는 언제인가?
지구에 도착하는 날짜는 언제인가?

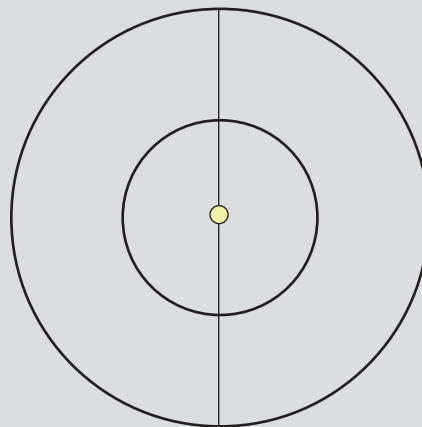


그림 5 화성 출발 시 지구와 화성 위치

결과 및 토의

1) 우주선이 화성까지 최단 궤도를 선택하지 않고 호먼궤도를 이용하는 이유는 무엇인가? 호먼궤도를 이용해 화성에 도달하는 시간이 왜 호먼궤도 공전 주기의 절반이 필요한지 호먼궤도를 그려 설명해 보자.

2) 지구의 중력장을 벗어난 후 탐사선의 속도는 지구의 궤도 속도를 빼 준 속도만큼만 필요하다. 탐사선이 1AU에 있을 때의 화성에 도달하기 위해 필요한 속도는?

$$V_{\text{상대}} = V_{\text{우주선}} - V_{\text{행성}}$$

3) 약 1.41AU 떨어진 화성에 도착한 탐사선은 화성에 대해 상대적으로 어떤 크기의 속도로 움직이고 있는가?

4) 지구와 화성이 가장 멀리 있을 때의 거리는 약 2.66AU 가량이다. 1AU를 1억 5000만 km라고 하고, 광속도를 300,000 km/s라 할 때 지구의 통제실에서 화성의 표면 탐사 로봇에게 명령을 보낸다면 얼마나 시간이 걸리겠는가?

명령을 보낸 후 반응을 확인하는 시간까지 얼마나 걸리겠는가? 이 때 일어날 수 있는 비상 상황을 예측하고 대책을 세워라.

6

행성궤도와 케플러 법칙

태양계는 태양을 포함한 태양 인력에 묶여 있는 여러 천체들로 이루어진다. 태양계를 구성하는 천체로는 8개의 행성, 수십만 개의 소행성, 그리고 긴 꼬리를 휘날리며 나타나는 혜성 등이 있는데, 이들은 모두 태양을 중심으로 궤도운동을 하고 있다.

케플러는 그의 스승 티코 브라헤의 행성 관측 결과로부터 경험적으로 이러한 궤도운동에 일정한 법칙이 있음을 발견하였는데, 이것이 다음과 같은 케플러의 법칙이다.

- (1) 제1법칙 : 행성은 태양을 하나의 초점으로 하는 타원궤도를 그리며 공전한다.
- (2) 제2법칙 : 행성과 태양을 연결하는 동경(動徑)은 같은 시간에 같은 넓이를 휩쓸며 지난다.
즉, 행성의 속도와 그 동경이 그리는 넓이의 곱은 항상 일정하다.
- (3) 제3법칙 : 행성 공전주기의 제곱은 공전궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다는 법칙이다.
행성궤도 장반경을 a (AU), 공전 주기를 p (년)라 하면, 다음의 관계식이 성립한다.

$$\left(\frac{a^3}{p^2}\right)_{\text{수성}} = \left(\frac{a^3}{p^2}\right)_{\text{금성}} = \left(\frac{a^3}{p^2}\right)_{\text{지구}} = \dots\dots\dots = \left(\frac{a^3}{p^2}\right)_{\text{해왕성}} = 1$$

티코 브라헤는 원래 천동설을 옹호하려고 행성의 위치를 측정하기 시작했다고 한다. 이에 대해 케플러는 지동설의 입장에서 지구의 공전궤도를 원이라 가정하고 화성의 공전궤도를 기하학적으로 작도해 본 결과, 그 궤도가 태양을 초점으로 하는 타원이라는 것을 알게 되었다. 케플러의 법칙은 후에 뉴턴이 만유인력을 수학적으로 표현하는데 핵심적인 기초를 제공해 주었다. 태양계 행성들의 궤도 자료는 이미 잘 알려져 있다. 이들 자료를 통해 행성들의 공전이 케플러 3법칙을 따라 이루어지고 있는지 알아 보자. 뉴턴은 케플러의 법칙을 궤도운동하는 두 물체에 적용하여 일반화시켰으며, 제3법칙을 다음과 같이 정의했다.

$$(m+M)p^2 = \frac{4\pi^2}{G} a^3$$

여기서 m 과 M 은 두 물체의 질량, p 는 공전 주기이고, G 는 만유인력 상수, a 는 그들의 상대적인 궤도의 장반경이다. 태양계에 이를 적용할 때 행성의 질량을 m , 태양의 질량을 M 이라고

하면 행성의 질량은 태양의 질량과 비교할 때 무시해도 될 정도이므로 이 식에서 우리는 한 가지 변수를 제외시킬 수 있다.

$$m + M \approx M \text{ 이므로, } M = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a^3}{p^2}$$

이 식은 지구의 공전에도 작용시킬 수 있으므로 p 는 년(year), a 는 천문단위(AU)로 표현한다면, $M = \frac{4\pi^2}{G}$ 이 된다. 따라서 케플러 제3법칙은 $\frac{a^3}{p^2} = 1$ 의 형태를 띤다.

탐 구 활 동 (1)

| 준비물 | 계산기, 자, 색연필, 그래프용지

케플러 제3법칙

태양계는 태양을 포함한 태양의 인력에 묶여 있는 여러 천체들로 이루어진다. 태양계를 구성하는 천체로는 8개의 행성, 수천 개의 소행성, 그리고 긴 타원궤도를 그리며 나타나는 혜성 등이 있는데, 이들은 모두 태양을 중심으로 궤도운동을 하고 있다. 이 실험에서는 이들의 물리량, 궤도 장반경과 공전 주기의 관계를 비교함으로써 태양계의 구조를 이해하고 케플러의 제3법칙에 대해 알아보자.

1) <표 1>에 주어진 자료를 이용하여 태양을 중심으로 각 행성의 궤도 장반경을 적절한 축척으로 태양계의 모델을 그려보자.

<표 1> 태양계 내 천체들의 물리량

천체	질량 (지구=1)	적도 반지름 (km)	공전 주기			궤도 장반경		
			p (년)	$\log p$	p^2	a (AU)	$\log a$	p^3
태양	?	696,000	—			—		
수성	0.055	2,440	0.24			0.4		
금성	0.815	6,052	0.62			0.7		
지구	1,000	6,379	1.00			1.0		
화성	0.107	3,397	1.88			1.5		
목성	?	71,492	11.86			5.2		
토성	95	60,268	29.41			9.5		
천왕성	14.6	25,559	84.04			19.2		
해왕성	17.2	24,764	165.00			30.1		

2) 태양계 내 천체들의 물리량 중 각 행성의 공전 주기(p)와 궤도 장반경(a)의 관계를 알아보기 위해
〈표 1〉에서 $\log p$ 와 $\log a$, p^2 과 a^3 의 값을 계산해 보자.

3) $\log a$ 를 가로축, $\log p$ 를 세로축으로 하는 그래프를 그리고 그래프로부터 $\log a$ 와 $\log p$ 의 관계식을
다음과 같이 구한 후, k_1 와 k_2 의 값은 얼마인지 알아 보자.

$$\log p = k_1 \times \log a + k_2$$

4) $\log p = k_1 \times \log a + k_2$ 식은 $p = 10^{k_2} \times a^{k_1}$ 로 나타낼 수 있는데 이 식을 케플러 제3법칙의 식
 $\frac{a^3}{p^2} = 1$ 과 비교해 보자.

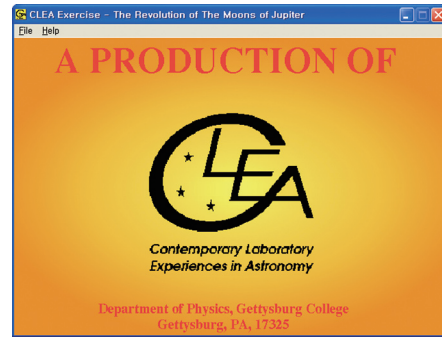
5) p^2 을 가로축으로 하고 a^3 을 세로축으로 하는 그래프를 그려보고 p^2 과 a^3 사이에는 어떤 관계가 성립
하는지 설명해 보자.

6) 케플러 제3법칙과 〈표 1〉의 값들을 이용하여 태양의 질량을 구해 보자.

CLEA 프로그램을 이용한 목성 질량 구하기

케플러 제3법칙은 태양을 도는 행성들에만 적용되는 것이 아니라 서로의 인력에 묶여 궤도운동을 하고 있는 모든 천체에 적용된다. 지구로부터 멀리 떨어진 목성의 질량과 같은 물리량을 바로 알 수는 없다. 하지만 목성의 위성들이 케플러 제3법칙을 따라 공전하고 있다면 이들의 운동을 관측하여 목성의 질량을 구할 수 있을 것이다.

미국 게티즈버그 대학에서 만든 기초 천문학 실험 · 실습용 가상 프로그램인 CLEA 프로그램을 이용하여 목성의 위성 위치를 시뮬레이션하고, 케플러 제3법칙을 적용하여 목성의 질량을 구해보자. CLEA 프로그램 중 “The Revolution of the Moons of Jupiter”를 설치해 보자.



- 1) 아래의 CLEA 홈페이지에서 접속하여 JupLab 2.0 버전을 내려 받아 설치하자.

<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>

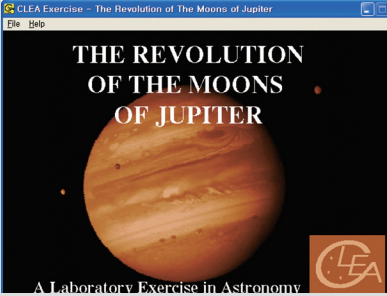
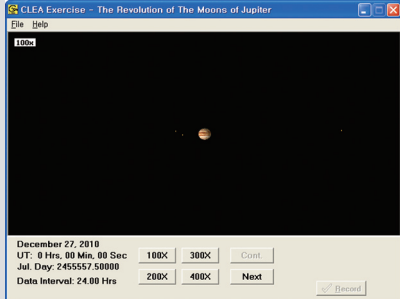
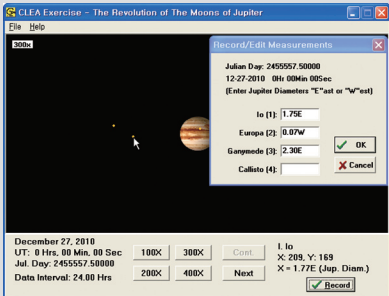
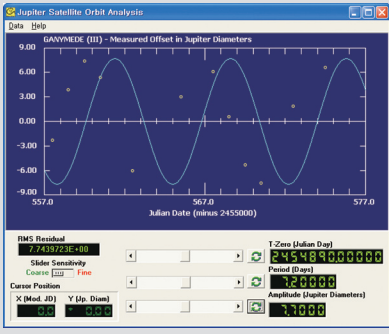
- 2) 다음 페이지의 프로그램 사용 안내를 따라 탐구 활동을 수행해 보자.

- 3) 다음의 참고 사항을 바탕으로 목성의 질량을 구해보자.

$$(m+M)p^2 = \frac{4\pi^2}{G} a^3, m+M \approx M \text{ 이므로, } M = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a^3}{p^2} \text{ 이다.}$$

〈표 2〉 갈릴레오 위성들의 공전 반지름과 주기

Name	Orbital radius (km)	Orbital period (days)
Io	421,700	1.77
Europa	671,034	3.55
Ganymede	1,070,412	7.15
Callisto	1,882,709	16.69

그림	설명
	① 'Jupiter Moons'라는  모양의 아이콘을 클릭한 후, 'File'을 눌러 'Log in'을 하면 그림과 같은 초기화면이 나타난다. ② 'File'의 'Run'을 누르면 'Set Date/ Time' 창이 나타나는데, 관측 날짜와 세계시를 확인한 후 OK를 누른다. ③ 'File'의 'Timing'에서 관측 간격을 조절할 수 있다. 하루 한 번 정도의 관측이면 적당하다.
	④ 프로그램이 실행되면 그림과 같이 목성과 현재 시각의 목성의 4대 위성이 나타난다. 'Next'를 누르면 설정한 시간 간격 이후의 목성 위성의 다음 위치가 나타난다. ⑤ 위성의 위치를 정확히 나타내기 위해 실제 화각(FOV)의 100X, 200X, 300X, 400X 배율로 확대할 수 있다. 각 위성의 중심을 클릭하면 오른쪽 아래에 위성의 명칭과 목성 중심에서 목성 직경의 몇 배만큼 동쪽 혹은 서쪽에 있는지 알려준다.
	⑥ 첫 번째 위성의 중심을 클릭한 후 오른쪽 아래의 'record'버튼을 누르면 기록창이 뜨며 위성의 위치 정보가 기록된다. 나머지 위성을 클릭한 후 계속 'record'를 누르면 기록창에 정보가 기록되는 것을 볼 수 있다. ⑦ 4개 위성의 정보가 다 기록되면 'OK'를 눌러 빠져나간 후 'Next'를 눌러 측정을 반복한다. 한 달 정도 관측을 끝낸 후, 'data'의 'Save'를 눌러 csv 파일로 저장한다.
	⑧ 'File'의 'Data'를 눌러 'Analyze'를 실행시킨 후 'Select Moon from Menu'에서 분석할 위성을 선택한다. ⑨ 위성이 선택되면 그림처럼 관측 data가 나타나는데, Data → Plot → Fit Sine Curve → Set Initial Parameter를 눌러 관측 시작 시의 줄리안데이 값, 선택 위성의 대략적인 공전 주기, 관측된 값 중 가장 큰 값을 기록하면 그림과 같이 나타난다. 슬라이드 바를 좌우로 움직여 싸인 곡선이 가장 잘 일치하는 값을 찾는다.

결과 및 토의

- 1) 탐구 활동을 통해 4대 위성의 공전 주기와 궤도 장반경 값을 아래 <표 3>에 기록하고 케플러 3법칙에 적용할 수 있는 값으로 환산해 보자.

위성	주기(Periods)		장반경(a)	
	days	year 환산값	Amplitude (목성 직경 대비)	AU 환산값
Io				
Europa				
Ganymede				
Callisto				
평균				

- 2) <표 3>의 자료를 이용하여 목성의 질량을 태양 질량의 배수값으로 구해보자.

- 각 위성의 공전 주기와 궤도 장반경 값을 각각 이용해 목성의 질량을 구하라.
- 각 위성들의 공전 주기와 궤도 장반경 값의 평균을 이용하여 목성의 질량을 구하라.

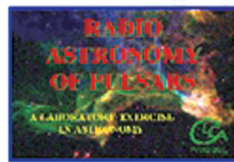
위성	p^2	a^3	$m(M_{\odot})$	오차
Io				
Europa				
Ganymede				
Callisto				
평균				

- 3) 어떤 위성의 자료로 구한 목성 질량의 오차가 가장 큰가? 그 이유는 무엇일까?

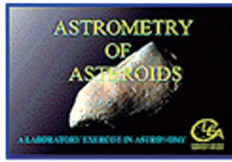
- 4) 실제 목성을 관측하고 촬영하여 목성의 질량을 구해 보기 위한 탐구 계획을 세워보자.

- 어떤 장비가 필요한가?
- 관측 계획을 어떻게 세워야 할까?
- 실제 관측을 통해 얻은 자료를 이용하여 목성 질량을 구하려면 무엇이 더 필요한지 조사해 보자.

CLEA 프로젝트 (Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy project)는 미국의 게티즈버그 (Gettysburg)대학에서 미국과학재단(NSF: National Science Foundation)의 지원을 받아 만든 천문학 입문 프로그램으로 천문학 연구를 위한 디지털 자료와 다양한 컬러 이미지들을 이용하여 실제로 천문학 학자가 연구를 수행하는 방법과 유사하게 경험할 수 있도록 만들어진 시뮬레이션 프로그램들이다. 고등학교의 지구과학 및 천문학 수업과 대학교의 일반 천문학 수준까지 다양한 수준의 모듈들로 이루어져 있다. CLEA 프로젝트 홈페이지(<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>)에서는 각 모듈별로 프로그램과 학생 설명서 및 교사를 위한 안내 및 기술적인 가이드를 제공한다.



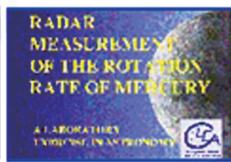
Radio Astronomy
of
Pulsars



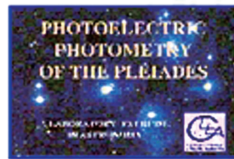
Astrometry
of
Asteroids



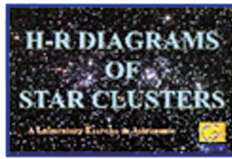
The Revolution of the
Moons of Jupiter



The Rotation of Mercury
by the Doppler Effect



Photoelectric Photometry
of the Pleiades

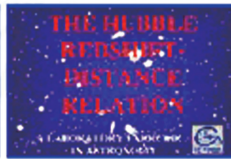


HR Diagrams of Clusters

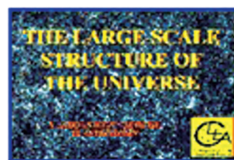
*NEW, JANUARY,
2008*



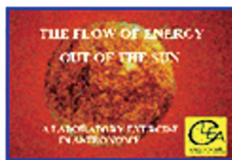
Spectral Classification
of Stars



The Hubble
Redshift-Distance
Relation



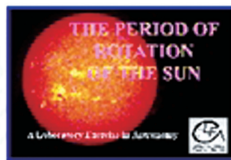
The Large Scale Structure
of the Universe



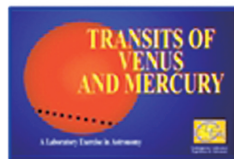
The Flow of Energy
Out of the Sun



The Quest for Object X



The Period of Rotation of
the Sun Using Images of
Sunspots from the CONG
project



Transits of Venus and
Mercury Using Images
from the CONG project

NEW, JANUARY 2006



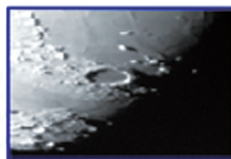
Jupiter's Moons and the
Speed of Light. The
Classic Roemer
Experiment

NEW, JANUARY 2009



Dying Stars and the Birth
of the Elements

NEW, JUNE 2006



The Height of Lunar
Mountains (From an
associated NON CLEA
DEVELOPER)

7

좌표계와 별자리

인간의 눈으로 볼 수 있는 별의 수는 남·북반구를 통틀어서 약 6,000개 가량이다. 인간들은 오래 전부터 이러한 별들을 묶어서 별자리를 만들어 사용해 왔다. 현재 쓰이는 별자리는 2세기 후반 그리스의 천문학자 프톨레마이오스가 저서 '알마게스트'에서 정리한 48개를 기원으로 하고 있다. 지금 사용되는 88개 별자리는 1930년 국제 천문 연맹(IAU)이 천구 상에서 경계를 정하고, 라틴어 이름과 약자를 결정하였다. 별자리 이름은 3자리의 표준 약자가 IAU에 의해 지정되어 있다. 예를 들면, 양자리는 Ari, 물고기자리는 Psc, 궁수자리는 Sgr, 큰곰자리는 UMa 등이다.

망원경을 사용하지 않고 육안으로만 보이는 별은 대략 6등급까지이나, 도심지에서는 2등급 또는 1등급까지 밖에 보이지 않는다. 어두운 밤에 구경 20 cm 정도의 망원경을 이용하면 약 13등급까지 볼 수 있다.

〈표 V-4〉 겉보기 등급에 따라 구분한 별의 총수

등급밝기 (등급)	별의 개수 (개)	등급 밝기 (등급)	별의 개수 (개)
0.0 등까지	4	8 등까지	4.1×10^4
1.0	10	9	1.2×10^5
2.0	32	10	3.4×10^5
3.0	150	12	2.4×10^6
4.0	530	14	1.5×10^7
5.0	1600	16	9.0×10^7
6.0	4800	18	4.0×10^8
7.0	1.4×10^4	20	1.0×10^9

탐구 1) 인간 눈의 동공 크기는 최대로 확장되었을 때 약 7 mm 가량이다. 육안으로 볼 수 있는 별의 등급이 6등급이라면 10 cm 굴절 망원경으로는 몇 등급의 별까지 볼 수 있는가?

탐구 2) 별의 등급이 커질수록 별의 개수가 크게 증가하고 있다. 만약 밤하늘에 분포하고 있는 별의 절대 등급이 같고 균일하게 분포하고 있다고 가정하자. 이 때 예측되는 별의 겉보기 등급 분포와 〈표 V-4〉에 나타난 것과 같은 실제 별의 분포와 어떻게 다르게 나타날지 말해 보고 그 차이를 비교해 보자. 그리고 차이가 나는 이유를 설명해 보자.

천체 망원경으로 관측하고자 하는 천체를 찾기 위해서는 별의 위치를 기록한 성도가 필요하다. 안시 관측을 위해서는 6~7등급까지 나타나 있는 성도면 충분하겠지만 사진 관측이나

CCD 관측을 위해서는 7등급보다 어두운 천체들이 나타나 있는 정밀 성도가 필요하다. 옛날 바이어와 플람스티드 목록부터 20세기 중반 팔로마 전천 탐사 목록(PSS)과 스미소니안 목록(SAO)을 거쳐 최근에는 TheSKY나 스타리나잇(Starry Night) 같은 디지털 성도가 있어 편리하게 활용되고 있다.

탐 구 활동 (1)

[준비물] 독일식 적도의, 10 cm급 굴절 망원경 또는 15 cm급 반사 망원경, 성도(Uranometria 2000 성도 또는 간이 성도)

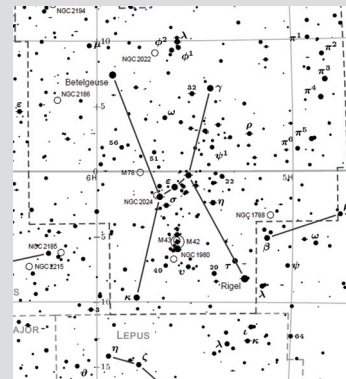
성도를 이용한 성운 관측

하늘에서 천체 망원경으로 별을 찾아 관측하고자 할 때 4등급보다 밝은 별은 눈으로 별을 찾아 망원경으로 찾을 수 있다. 하지만 7~8등급보다 어두운 별을 관측하거나 성운, 성단을 관측하려면 눈으로 찾기도 어렵지만 찾더라도 망원경의 시야에 들어오는 별의 개수가 급격히 증가하여 원하는 별을 시야 중앙에 넣기 어렵다. 따라서 원하는 천체를 찾기 위해서는 성도에 나타난 별의 배열과 실제로 망원경에 보이는 별의 위치를 비교해서 찾아야 한다.

겨울철 대표 별자리인 오리온 자리에서 오리온 대성운(M42)과 또 다른 성운 M78을 찾아서 관측하고 촬영해 보자.

- 1) 관측하고자 하는 천체(M42, M78)와 관측 천체 주변에서 찾기 쉬운 밝은 천체(Rigel)의 적경, 적위와 밝기 및 남중 시각을 조사해 다음 표에 적어 넣어 보자.

	적경	적위	m_v	남중 시각
Rigel				
M42				
Rigel과 차이				
M78				
Rigel과 차이				



- 2) 천체 망원경의 설치: 평탄한 곳에 천체 망원경을 설치하고, 망원경의 극축을 맞추고 파인더를 정렬한다.
- 3) 찾고자 하는 성운에 가까운 별인 리겔(Rigel)을 파인더로 찾은 후 망원경의 시야 중앙에 오도록 망원경을 조절한다. 성도에서 찾은 Rigel의 좌표값을 망원경 적도의 적경 눈금과 적위 눈금을 맞춘다. 찾고자 하는 성운과 밝은 별의 적도 좌표값 차이만큼 망원경을 움직여준다.
- 4) 파인더 시야에 찾고자 하는 성운이 들어온지 확인한 후 망원경을 움직여 파인더 시야 중심으로 찾고자 하는 천체를 이동시킨다. M78의 경우 눈으로 확인이 잘 되지 않으면 카메라를 연결하여 노출 시간을 길게 하여 촬영을 한 후 성운을 확인한다.

디지털 성도를 이용한 천체 및 별자리 관측

스텔라리움(Stellarium)은 무료로 사용할 수 있는 플라네타륨 프로그램이다. 스텔라리움은 맨눈이나 쌍안경, 망원경으로 본 진짜 밤하늘과 같은 모습을 보여주며, 실제 플라네타륨에도 사용되고 있다. 스텔라리움에는 히파르코스 별 목록의 모든 별을 포함한 60만 개 이상의 항성 정보가 수록되어 있으며, 추가로 더 많은 별들의 정보를 수록하여 사용할 수 있다.

- 1) 무료 디지털 성도인 스텔라리움(Stellarium)을 다음 사이트에서 내려 받아 컴퓨터에 설치한다.
영문판: <http://www.stellarium.org/>
한글판: <http://bbs.knue.ac.kr/~tepisces/Stellarium-kr.exe>
- 2) 스텔라리움을 실행시켜 관측지의 위도, 경도 및 시간을 입력한다.
- 3) 마우스와 화살표키 등을 이용하여 스텔라리움의 화면을 스크롤해 본 후, 시간 빨리가기 버튼을 여러 번 눌러 오늘의 태양의 일주 운동을 조사해 보자.



결과 및 토의

- 1) 태양이 뜨고 질 때의 지평 좌표값과 시간을 알아보자.
- 2) 태양의 남중 시각과 남중 고도를 알아보자.
- 3) 시간 빨리가기 버튼을 여러 번 눌러 일주 운동 속도를 빠르게 하여 오늘 태양의 일주 운동 경로를 나타내보자.
- 4) 자정에 남중하는 별자리가 그 계절을 대표하는 별자리이다. 오늘 밤 자정에 남중하는 별자리를 찾아 본 후, 각 계절별 별자리를 찾아보자.
봄:
여름:
가을:
겨울:

탐 구 활 동 (3)

디지털 성도를 이용한 일식 관측

스테랄리움을 이용하면 유성우나 일식 및 월식과 같은 부정기적인 천체 현상을 관찰할 수 있다. 최근에 발생한 2009년 7월의 개기 일식을 관찰해 보자.

2009년 7월의 개기 일식과 2010년 1월의 금환 일식을 관찰할 수 있는 지역을 검색하여 스테랄리움으로 일식의 전 과정을 관찰해 보자.

(1) 관찰 가능한 장소의 위, 경도를 나타내보자. (바다가 아닌 곳으로 찾을 것)

	위도	경도
2009년 7월의 개기 일식 :		
2010년 1월의 금환 일식 :		

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEplot/SEplot2001/SE2009Jul22T.GIF>: 2009년 개기 일식

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/OH/OHfigures/OH2010-Fig01.pdf>: 2010년 금환 일식

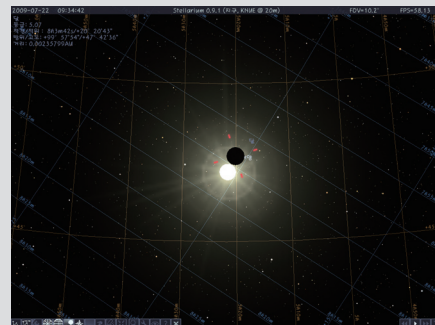
(2) 2009년 7월의 개기 일식과 2010년 1월의 금환 일식에서 각 관측지에서의 개기식과 금환식의 시작과 종료 시각은 언제인가? 개기식과 금환식의 지속 시간을 알아보자.

	제1접촉 시각	개기식 시작	개기식 종료	제4접촉 시각
2009년 7월의 개기 일식 :				
2010년 1월의 금환 일식 :				

(3) 우리나라(자기가 살고 있는 지역)에서의 2009년 7월의 개기 일식과 2010년 1월의 금환 일식을 관찰해 보자.

– 2009년 7월의 개기 일식 시 일식의 진행 정도가 얼마나 되는지 스테랄리움으로 알아보자.

– 2010년 1월의 금환 일식은 일몰형 일식으로 진행되었다. 스테랄리움으로 관찰해 보자.



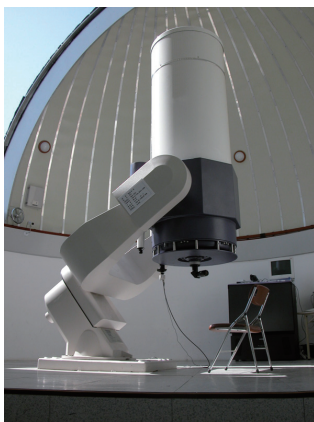
8

천체 관측의 도구

천문학 연구는 각종 천체 및 천체 현상에 의한 빛의 관측에서 시작된다. 천체 관측이란 지구의 대기권 밖에 있는 물체의 위치와 운동, 천체가 방출하는 빛의 세기와 그 변화, 천체의 표면 상태나 질량 등을 관찰·측정하는 활동으로 현대천문학은 γ 선·X선에서 자외선·가시광선·적외선, 나아가 전파 영역까지 모든 파장역에 걸쳐 여러 가지 정보를 얻고 있다. 천체 관측은 무엇을 목적으로 관측을 하느냐에 따라 다음과 같이 나눌 수 있다.

측광은 하나의 넓은 파장대에서, 혹은 분광관측에 비하여 비교적 넓은 파장 영역별로 천체의 밝기를 관측하는 방법으로, 쌍성, 변광성, 초신성, 활동성은하핵, 우주 초기 은하 관측 등에 광범위하게 사용된다. 측광은 다음 이유로 광전증배관이라고도 불린다 : 광전증배관이나 CCD와 쓰기도 한다. 광전증배관이나 CCD와 같은 검출기를 망원경에 연결하여 천체의 빛의 양을 측정하는 관측 방법으로 검출기에 입사된 광자의 양을 전류의 신호로 바꾸어 별의 밝기를 측정한다. 측광 관측을 위해서는 천체를 자동으로 찾아서 추적 가능한 GOTO 천체 망원경과 천체로부터 입사된 빛의 양을 측정하기 위한 광전증배관이나 CCD가 필요하다.

분광관측은 각종 천체의 방출선이나 연속 스펙트럼을 관측한다. 별에서 얻은 흡수선이나 방



(가) 광학 반사 망원경



(나) 전파 망원경 KVN



(다) 케플러 우주 망원경

〈그림 V-18〉 천체 망원경의 종류

출선과 같은 선스펙트럼의 해석은 별의 대기를 구성하는 화학 성분의 종류와 밀도가 예측 가능하게 하며 도플러 효과를 통해 팽창, 수축 또는 자전, 우주 팽창 및 특이 운동에 의한 과거 천체의 적색편이량(적색편이량이 클수록 더 과거에 존재하는 천체이다) 등의 운동학적 정보를 동시에 얻을 수도 있다.

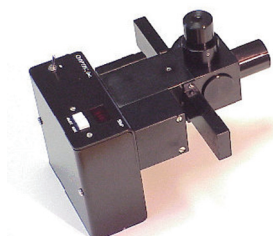
분광관측 역시 다양한 천체를 관측 대상으로 하는데, 구조를 살필 수 있는 태양, 행성, 근접성운, 성단, 쌍성, 은하 등을 비롯, 시선방향의 천체의 속도, 과거 은하의 우주나이 측정, 신성·초신성·감마선 버스트(γ -ray burst) 등의 돌발현상 관측에도 사용한다.

또한 천체의 운동에 관한 연구를 위해 각종 천체의 천구상의 정밀한 위치를 측정하기도 하며, 혜성·신성·초신성 등과 같은 돌발적 현상의 발견이나, 또는 너무 어두워서 종전에 발견되지 못하거나 연구가 이루어지지 못한 천체를 발견하거나 연구하는 일도 이루어진다.

인간의 눈으로는 약 6등성의 별까지만 볼 수 있기 때문에 더 희미한 별들을 보기 위해서는 인간의 눈보다 빛을 더 모을 수 있는 망원경이 필요하다. 가장 오래된 천체 망원경은 갈릴레이식 굴절 망원경이다. 접안렌즈로 오목렌즈를 사용하여 정립상을 만들어 내는 것이 특징인 갈릴레이식 망원경은 시야가 너무 좁아서 지금은 천체용 망원경으로는 사용되지 않는다. 이와 달리 케플러식은 볼록렌즈를 접안렌즈로 사용하고, 이 렌즈가 대물렌즈의 초점 뒤에 맺힌 도립실상을 확대해 보는 것이므로 거꾸로 보이는 단점이 있지만, 천체를 보는 데는 별 지장이 없다. 시야가 넓고 상이 좋은 장점이 있어 대부분의 굴절 천체 망원경은 이 방식으로 만들어진다.

그리고 반사 망원경은 오목거울(현재는 포물면경이나 쌍곡면경을 사용)의 빛을 반사하는 성질을 이용해 빛을 모으도록 만든 망원경으로 주경과 부경으로 구성되어 있다. 초점이 맺히는 방식에 따라 뉴턴식, 카세그레인식, 쿠퍼식 등이 있다. 색수차가 없으며, 렌즈보다 가볍고 큰 유리 소재를 얻기가 쉬워 적은 비용으로 집광력이 좋은 큰 망원경을 만들 수 있다.

천체관측은 19세기 중엽까지 육안 관측에 의존하다 사진의 발명으로 1850년 무렵부터 별을 촬영하기 시작하였다. 이후 광전자 증배관(増倍管)이 발명된 1950년 무렵부터 측광관측이 이루어졌고, 최근에는 CCD를 이용한 DSLR 카메라와 냉각 CCD를 많이 사용하고 있다. 냉각



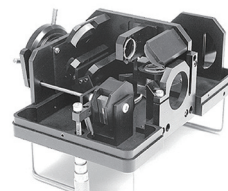
(가) 광전증배관 SSP-5a



(나) CCD ST-10XME



(다) DSS-7 분광기



(라) SGS 분광기

〈그림 V-19〉 천체 관측의 도구 : 검출기(dectector)들

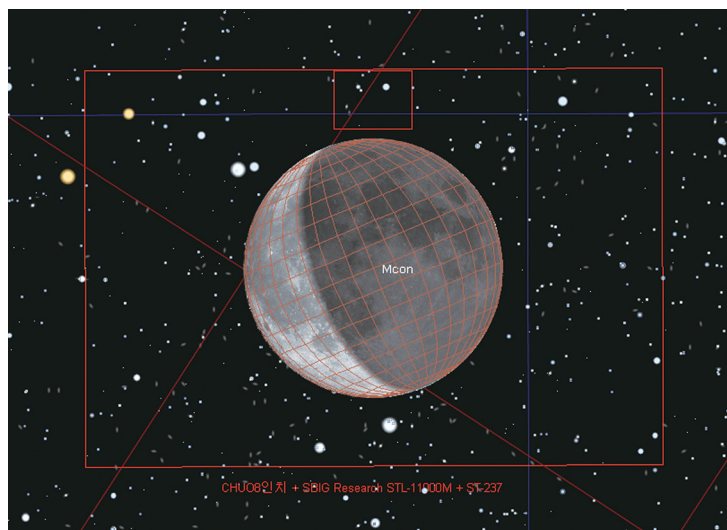
CCD는 CCD를 냉각시켜 잡음 발생이 DSLR 카메라에 비해 거의 없으며, 원칙적으로는 흑백으로만 데이터를 인식하지만 RGB 필터를 이용하여 컬러 사진도 찍을 수 있다. 게다가 UBVRI 필터와 같은 표준 필터를 이용하면 천체의 측광이 가능하다.

별을 찍을 때 CCD에 노출을 주게 되면 단위 픽셀에는 노출 시간 동안 광자가 축적되고, 광자가 광전 효과에 의해 전자들을 만든다. 이때 CCD 자체도 열이 있으므로 이 열 때문에 전자가 발생하는데 이를 암전류(dark current)라 한다. CCD의 노출과 관계 없이 처음부터 존재하고 있었던 전자들도 있는데, 이를 bias 잡음이라 한다. 별의 측광 시 암전류나 bias 잡음은 우리가 필요로 하지 않는 전자들이며, 특히 암전류는 희미한 천체를 찍을 때 검출 한계를 제한하는 요소가 된다. bias 잡음은 관측을 시작하기 전 상태의 CCD의 각 픽셀 초기 값이 0이 되어야 하나 그렇지 못해 생기는 영상이다. 이 잡음은 CCD 픽셀들의 기계적인 원인 때문에 발생하는 것으로 값이 거의 일정하기 때문에 이 잡음에 의한 영상은 보정이 가능하다.

천체 망원경을 구동하고 CCD를 이용하여 천체 사진을 촬영하기 위해서는 전용 프로그램이 필요하다. 천체 망원경을 구동하는 프로그램은 망원경 제작 회사에 따라 특화된 전용 프로그램이 있지만 최근에는 TheSky6과 같은 전문 프로그램을 많이 사용하고 있다. 냉각 CCD의 경우에도 제작 회사에서 제공하는 프로그램(SBIG사의 경우 CCDOPS)이 있지만 역시



〈그림 V-20〉 Maxim/DL과 TheSky6



〈그림 V-21〉 8인치 굴절망원경에 STL-11000M CCD 부착시 화각(FOV)

MAXIM/DL과 같은 전문 프로그램을 사용하는 추세이다. 이들 전문 프로그램들은 한번 사용법을 익혀두면 천체 망원경과 CCD가 바뀌어도 쉽게 적응하여 사용할 수 있다.

Maxim DL은 연구 수준의 CCD 카메라의 작동과 천체 이미지 처리를 위해 설계된 프로그램이다. Maxim DL은 포토샵과 같은 이미지 처리 프로그램처럼 이미지를 편집하고 처리할 수 있는 기능을 포함하고 있으며, CCD를 이용하여 천체 이미지를 촬영하고 Dark, Bias, Flat 등 전처리를 신속하게 처리할 수 있으며, 최종 처리된 천체 이미지를 과학적으로 분석하여 별의 측광(photometry)을 하거나 측성(astrometry)을 할 수 있는 강력한 기능을 제공한다. 게다가 망원경을 직접 조작할 수 있는 기능도 포함하고 있다.

탐 구 활 동

천체 망원경의 특성 탐구

천체 관측과 연구를 위한 천체 망원경과 다양한 검출기들은 이전에는 대학교나 연구소, 시민 천문대 등에서나 볼 수 있었지만 최근 많은 학교에 원형돔과 슬라이딩돔(롤오프루프돔)을 갖춘 천문대가 만들어지고 다양한 천체 망원경들이 설치되어 관측 활동과 R&E 연구를 통한 천문 연구 활동이 활발하게 이루어지고 있다.

1) 다음 천체 망원경과 검출기들은 전국 과학계 고등학교에 설치되어 있는 대표적인 것들이다. 이들 천체 망원경과 CCD의 제원을 조사해 보고 사용 CCD에 따른 화각(FOV)를 계산해 보자.



가. ○○과학고등학교
8인치 굴절 망원경



나. ○○과학고등학교
24인치 반사 망원경



다. ○○과학고등학교
20인치 반사 망원경



라. ○○과학고등학교
10인치 굴절 망원경

과학계 고등학교의 천체 망원경들

	구경	초점거리	f수	사용 CCD	FOV
(가) 8인치 굴절	200 mm	1800 mm	f9	SBIG 11000 M SBIG 10XME QHY 9 CCD Canon DSLR 우리학교 검출기 기타	
(나) 24인치 반사			f8		
(다) 20인치 반사			f10		
(라) 10인치 굴절			f10		
(마) 우리 학교					

	CCD chip	CCD 크기	픽셀 크기	화소
SBIG 11000M				
SBIG 10XME				
QHY 9 CCD	코닥 KAF8300	19.7mm×15.04mm	5.4μm×5.4μm	3448×2574
Canon DSLR				
우리 학교 검출기				

(2) 활동 (1)에서 조사된 내용을 이용하여 이들 천체 망원경들의 다음 항목들을 알아보자.

	집광력	분해능	한계 등급	적정 배율	사진 건판 척도
(가) 8인치 굴절					
(나) 24인치 반사					
(다) 20인치 반사					
(라) 10인치 굴절					
(마) 우리 학교					

결과 및 토의

1) 다음과 같은 천체들을 관측하고 촬영하려고 한다. 이 천체들의 시직경과 겉보기 등급을 조사하여 어떤 천체 망원경과 검출기를 사용하는 것이 좋을지를 선택해 보자. 왜 그렇게 선택하였는지 설명해 보자.

	시직경	겉보기 등급	선택된 천체 망원경	선택된 검출기	선택 이유
태양 또는 달					
행성(목성)					
성운(M42)					
행성상 성운(M57)					
성단(M45)					
외부은하(M51)					
이중성(알비레오)					
변광성					

2) 천체 관측을 통해 수행할 수 있는 탐구 활동을 하나 계획해 보자.

- 무엇을 관측할 것인가?
- 관측을 통해 알고자 하는 현상은 무엇인가?
- 어떤 천체 망원경과 검출기를 이용할 것인가?
- 언제 어떻게 관측할 것인가?

9

달의 관찰

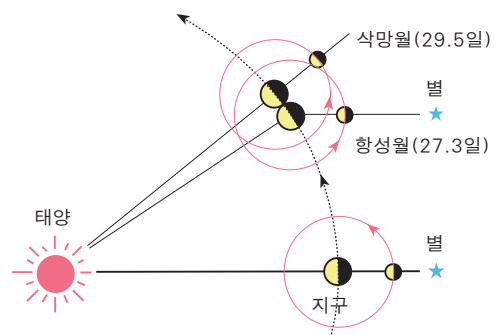
하룻밤 동안 달을 관찰하면 지구의 자전으로 인해 달의 위치가 달라지는 것을 관찰할 수 있다. 실제 달의 운동은 달의 위상에 따라 여러 형태로 관찰된다. 이 일주운동을 여러 날 동안 자세히 관찰하면 달의 공전으로 인해 별들 사이로 달이 아주 천천히 움직이는 것을 알아 낼 수 있다. 달을 매일 직접 관찰하여 기록해 보면 달의 운동뿐만 아니라 지구의 운동까지도 알 수 있다.

달은 매일 13° 씩 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 그 원인은 달이 지구를 시계 반대 방향으로 공전하기 때문이며, 이렇게 움직여 가는 길을 백도라고 한다. 백도는 지구 공전궤도인 황도와 5.15° 의 경사를 이루고 있다. 만일 백도와 황도가 경사져 있지 않다면 일식과 월식이 각각 한 달에 한 번씩 일어날 것이다.

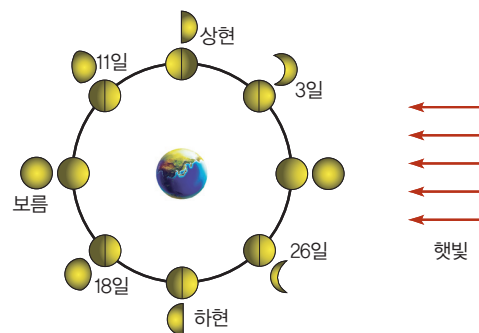
달이 정확히 지구를 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간은 27.3일이며, 이 주기를 항성월이라고 한다. 항성월이란 별자리를 기준으로 한 달의 공전 주기로, 달이 백도를 따라 어떤 별자리를 출발하여 다시 그 별자리까지 오는데 걸리는 시간이다.

달은 상현달→보름달→하현달→그믐달의 순서로 그 모습이 변하는데, 이러한 위상 변화의 주기는 항성월보다 2.2일이 더 긴 29.5일로, 이 주기를 삭망월이라고 한다. 삭망월은 달의 모양 변화를 기준으로 한 공전 주기이다.

이러한 달의 공전으로 인해 달은 매일 53분씩 늦게 뜬다. 달을 관측하고자 할 때 달의 위상에 따른 월출, 월몰 시각을 미리 알지 못하면 적절한 관측 계획을 세울 수 없다.



〈그림 V-22〉 달의 운동



〈그림 V-23〉 달의 위상 변화

달의 자전 주기는 공전 주기와 같은 27.3일이다. 이로 인해 달의 앞면이 항상 지구를 향하게 되어 달의 뒷면을 볼 수 없다. 하지만 달의 뒷면을 완전히 볼 수 없는 것은 아니며 달 전체 표면의 약 59%를 볼 수 있다. 이는 달의 자전 속도는 일전한데 공전궤도가 타원이기 때문에 케플러 법칙과 궤도의 기하학적인 효과로 인해 약 6.2° 의 동서 방향을 더 볼 수 있는 것이다. 또 백도가 황도와 5.15° 경사져 있기 때문에 6.68° 의 남북 방향을 더 볼 수 있다. 이러한 현상을 ‘칭동’이라고 하며, ‘갈릴레이’에 의해 밝혀졌다.

천체 사진 촬영

천체 사진을 촬영하는 방법에는 천체 망원경이 없어도 사진기의 시야를 하늘의 한 곳에 고정시켜 놓고 적당한 노출을 주어 별이나 별자리의 일주 운동 경로를 찍거나, 짧은 노출을 주어 하늘의 움직임이 나타나지 않도록 찍는 고정 촬영법이 있다.

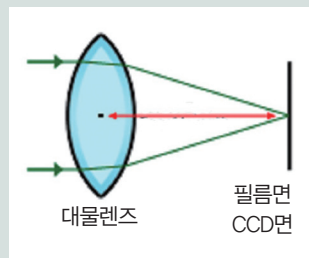
추적 장치가 달린 적도의식 가대가 있는 천체 망원경을 사용하여 천체를 촬영하게 되면 더 어두운 별이나 성운, 성단, 은하까지 장시간 흐르지 않게 촬영할 수 있는데, 이러한 방법을 가이드 촬영이라 한다. 가이드 촬영법은 카메라를 망원경에 부착하는 방식에 따라 직조점 촬영과 확대·축소 촬영, 아포칼 촬영 및 피기백 촬영 등이 있다. 직조점(prime focus) 촬영이란 망원경의 대물렌즈를 카메라의 렌즈처럼 사용하는 방법으로 DSLR 카메라의 렌즈 대신 T-ring과 어댑터를 장착한 망원경의 접안부에 카메라를 직접 연결하는 방식이다. 망원경의 긴 초점거리만큼 고배율의 상을 얻을 수 있지만 확대율이 높아져 장시간 노출 시 정밀한 가이드가 필요하다. 최근 들어 성능이 향상된 DSLR 카메라와 냉각 CCD의 보급이 늘고 CCD를 이용한 가이드가 보편화되어 천체 촬영에 가장 많이 이용되고 있는 방법이다.

확대 촬영이란 직조점보다 확대해서 촬영한다는 의미이며, 접안렌즈를 넣을 수 있는 어댑터에 접안렌즈를 넣은 후 카메라와 접안부 사이에 어댑터를 끼워 촬영하는 방법이다. 최근에는 확대 촬영을 위해 확대 바로렌즈를 이용하거나 텔레 컨버터 등을 이용하기도 한다. 확대 촬영은 일반적으로 태양, 달 및 행성 등 태양계 내 천체 촬영에 주로 이용된다.

축소 촬영이란 직조점보다 축소해서 더 넓은 범위를 촬영할 때 초점거리를 줄여주는 리듀서(reducer)를 이용하는 방법이다.

아포칼(afocal) 촬영이란 주로 달이나 행성의 확대 촬영에 많이 사용되며, 렌즈를 교환하지 못하는 카메라에서 사용되어 왔다. 아이피스가 부착된 망원경에 렌즈가 끼워진 카메라를 연결하는 방식이다. 상대적으로 해상력이 떨어지고 화각이 제한되는 경우가 많다.

피기백 촬영이란 망원경에 카메라 부착 장치를 설치하여 카메라를 달고, 주 망원경을 가이드 망원경으로 이용하여 촬영하는 방식이다.



(가) 직조점 촬영의 원리



(나) DSLR 카메라 직조점 촬영



(다) 냉각 CCD 직조점 촬영

〈직조점(prime focal) 촬영〉

DSLR 카메라를 이용한 달 직초점 촬영하기

달은 천체 중에서 지구에서 가장 가까우며, 태양을 제외한 천체 중 가장 밝고 시직경이 커서 소구경 망원경으로도 표면을 잘 관찰할 수 있다. 게다가 별과 달리 매일같이 위상과 겉보기 크기가 바뀌는 특성을 지니고 있어 다양한 탐구가 가능하다.

1) 달 촬영에 이용할 천체 망원경과 DSLR 카메라의 각종 제원을 조사하여 적어 보자.

천체 망원경	망원경 종류		망원경 형식		적도의 종류		아이피스 종류	
	구경		초점 거리		f수		아이피스 초점거리	
DSLR 카메라	기종				CCD 크기	mm × mm		

2) 초점 거리가 다른 아이피스를 바꿔 가며 여러 가지 배율로 달 표면을 관찰해 보자.

3) 천체 망원경에 DSLR 카메라를 직초점 방식으로 장착한 후, 파인더를 통해 달을 육안으로 확인하면서 찾아 망원경의 시야에 들어오게 하자. 그런 후 망원경의 추적 모터를 끄고 달이 망원경의 시야 밖으로 완전히 벗어나는 시간을 초시계로 측정해 보자.

4) 4명 이상으로 달 촬영 조를 짜서 한 달 동안 달의 전월령 촬영 계획을 세워보자.

결과 및 토의

- 1) 달이 망원경 시야를 벗어나는 시간은 몇 초나 걸리는가? 이를 이용하여 망원경을 통해 볼 수 있는 전체 시야각(FOV: Field Of View)은 몇 도나 되는지 말해 보자.
- 2) 직초점으로 촬영하였을 때 사진의 전체 시야각(FOV: Field Of View)이 얼마나 되는가? 달의 크기를 더 확대하여 촬영하고자 한다면 어떤 방법을 사용할 수 있는가?
- 3) 조원들이 촬영한 월령별 달 사진들을 모아 전월령 포스터(Moon Journal)를 만들어 보자. 이때 포스터에는 촬영자, 사용한 천체 망원경과 DSLR 카메라의 제원 및 촬영 제원(ISO 감도, 노출 시간) 등을 같이 나타내보자. 상현달의 촬영과 달리 하현달 촬영 시 미리 고려해야 할 주요한 사항에는 어떤 것이 있을까?

달 사진을 이용한 크레이터 고도의 측정

구경 10 cm 정도의 굴절 망원경으로 달 표면을 관찰해 보면 표면의 모습이 잘 나타난다. 보름달은 달의 모든 지형을 관찰할 수 있는 좋은 기회이지만, 크레이터를 관찰하기에는 좋지 않다. 달을 촬영하여 크레이터의 그림자 길이를 측정하면 삼각법을 이용하여 크레이터의 높이를 구할 수 있다.

1) 탐구 활동 (1)에서 촬영한 달 사진 중 상현달이나 하현달 사진을 선택한다.

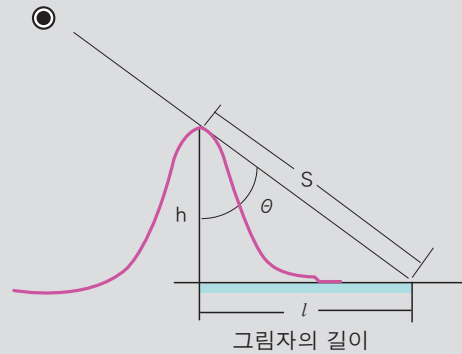
2) 선택한 사진에서 그림자가 뚜렷하고 크게 나타난 크레이터를 3~4개 선택하여 달의 크기와 그림자의 길이 비를 이용하여 크레이터 고도를 간략하게 구해 본다.

그림에서 θ 와 l 을 알면 달 크레이터의 높이는

$$h = \frac{l}{\tan \theta} \text{이다.}$$

이때 달의 실제 크기와 사진 속 달 크기의 비는 다음과 같다.

$$\text{축척비} = \frac{\text{달의 실제 지름}(3,476\text{km})}{\text{사진 속의 달의 지름(pixel)}}$$



〈크레이터 고도 구하기〉

결과 및 토의

1) 상현달 사진을 선택한 이유는 무엇인가? 만약 다른 월령의 사진을 이용한다면 θ 를 구하기 위한 방법들을 말해 보자.

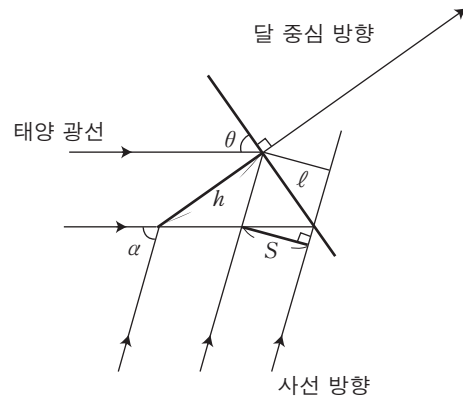
2) 어떤 크레이터를 선택했는지 적어보고, Virtual Moon Atlas를 이용하여 각 크레이터들의 경도, 위도 및 실제 높이를 적어보자.

	크레이터 명칭	크레이터 위치		그림자 크기로 구한 크레이터 높이	Virtual Moon Atlas에서 찾은 실제값
		경도	위도		
1					
2					
3					
4					

3) 탐구 활동에서 구한 크레이터 높이와 Virtual Moon Atlas에서 찾은 실제값의 차이가 얼마나 나는지 오차를 구해 보고 오차의 원인들을 말해 보자.

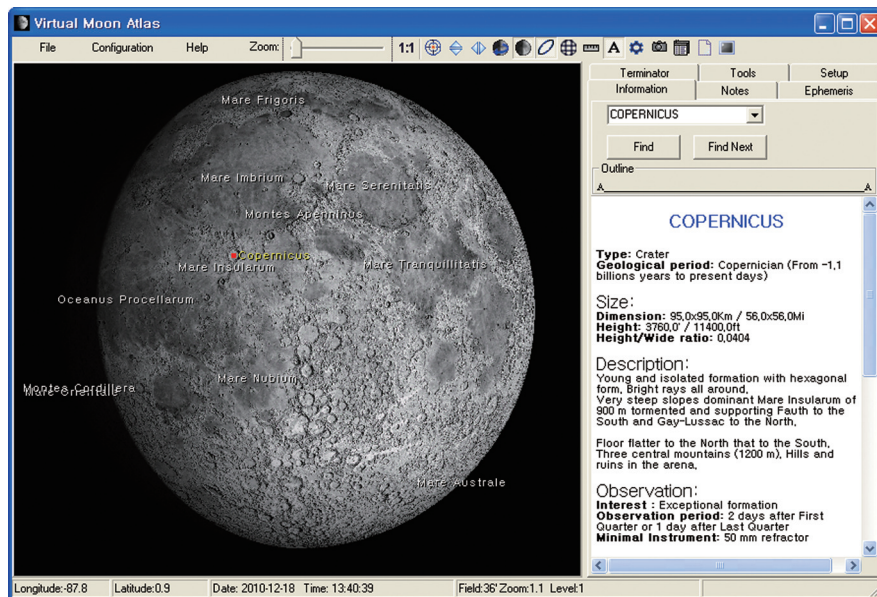
4) 실제 달 사진에서 직접 얻을 수 있는 정보는 크레이터 그림자의 길이 S 이다. 하지만 이 길이는 실제 그림자 길이 l 과는 차이가 있다. 오른쪽 그림을 이용하여 실제 길이 l 을 구하기 위한 방법을 설명해 보자.

α : 지구-달-태양 사이의 각
 θ : 달에서의 태양 고도
 h : 크레이터의 높이
 l : 달 표면에 크레이터 그림자 길이
 S : 지구에서 본 그림자 길이



〈크레이터 그림자 길이〉

※ Virtual Moon Atlas는 다음 사이트에서 내려 받아 이용한다.
<http://ap-i.net/avl/en/start>





〈학생들의 공동 작업으로 만든 전월령 포스터 촬영 정보와 사용 망원경과 검출기(DSLR 카메라)의 정보가 기록되어 있다.〉

10

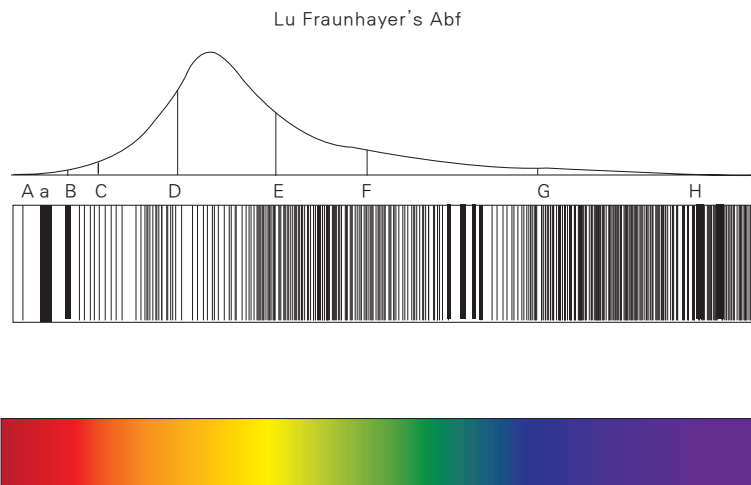
별의 스펙트럼

별은 무엇으로 만들어졌을까? 인류가 이 물음에 대한 답을 찾은 것은 1백년 남짓 밖에 되지 않았다. 스펙트럼은 별이 무엇으로 만들어졌는지는 물론이고, 얼마나 뜨거운지, 어떻게 움직이는지 등의 별에 대한 다양한 정보를 담고 있다. 현대천문학의 핵심은 태양, 별, 성운, 은하 등의 천체에서 나오는 빛의 스펙트럼을 분석하여 천체에 대한 정보를 알아내는 것이다. 빛의 스펙트럼을 얻는 장치를 분광기라고 하며, 천체에서 나온 빛의 스펙트럼을 얻는 장치는 천체분광기라고 한다.

햇빛을 프리즘을 통해 분산시킬 때 나타나는 색의 띠를 태양 스펙트럼이라 한다. 이러한 현상은 프리즘에 의한 빛의 굴절률이 빛의 파장에 따라 다르기 때문에 일어나는 현상이다.

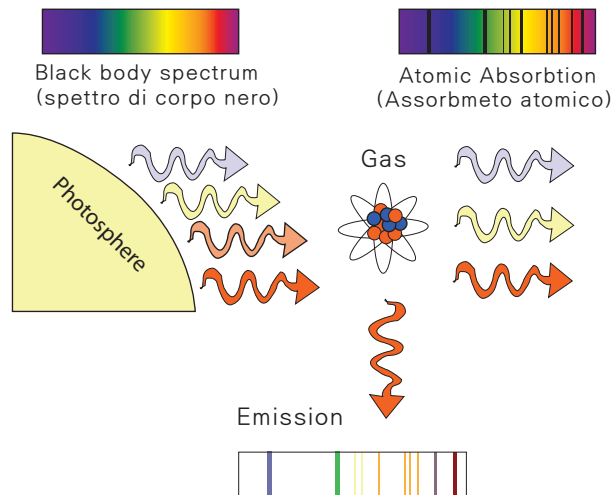
스펙트럼은 햇빛 및 전등빛과 같이 파장에 따라 연속적으로 늘어선 연속 스펙트럼과 어떤 계가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 옮겨갈 때 방출되는 방출 스펙트럼 및 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 옮겨갈 때 흡수되는 흡수 스펙트럼과 같은 선스펙트럼이 있다.

19세기 초반 프라운호퍼는 태양의 스펙트럼을 처음 체계적으로 관찰하여 스펙트럼에 매우 많은 흡수선들이 있음을 알아냈다. 그는 밝은 흡수선들을 붉은 색에서 시작해 A, B, C, D 등의 번호를 붙였다.



〈그림 V-24〉 프라운호퍼가 스케치한 태양 스펙트럼의 흡수선과 기준 태양 스펙트럼

별의 구성 물질은 지구에 도달한 별빛을 분석하여 알 수 있다. 독일의 과학자 키르히호프(G. R. Kirchhoff: 1824~1887)는 빛의 스펙트럼을 연속 스펙트럼, 방출 스펙트럼, 흡수 스펙트럼의 3가지로 분류하였다.



〈그림 V-25〉 스펙트럼의 원리

연속 스펙트럼 : 열에너지를 지닌 물체가 이를 빛으로 방출할 때의 열적 스펙트럼. 자기장이 존재하는 환경에서 전하가 움직여 발생하는 싱크로트론 복사 및 전자 플라즈마의 상호간섭으로 발생하는 제동복사(bremsstrahlung) 등의 비열적 스펙트럼은 모든 파장에서 빛이 방출되어 이를 연속스펙트럼이라 한다.

방출 스펙트럼 : 형광등 빛처럼 고온의 가스에서 나오는 빛은 특정 파장의 빛이 강하게 나타나는데 이를 방출 스펙트럼이라고 한다.

흡수 스펙트럼 : 저온의 기체를 통과한 스펙트럼은 그 기체의 종류와 상태에 따라 특정한 파장의 빛을 흡수하여 스펙트럼에서 검은 띠를 볼 수 있게 되는데, 이와 같은 스펙트럼을 흡수 스펙트럼이라고 한다.

키르히호프는 실험실에서 가열된 나트륨 등의 불꽃에서 스펙트럼의 노란색 쪽에 가까운 두 개의 밝은 방출선이 만들어진다는 것을 알아냈다. 그러나 연속 스펙트럼의 빛을 같은 나트륨 등에 통과하게 했을 때 같은 파장에서 두개의 흡수선을 발견하였다. 다른 종류의 원자는 다른 파장에서 선을 만들어낸다. 그는 나트륨은 항상 이들 두 개의 파장에서만, 선을 만들어낸다는 사실을 알게 되었다. 그로인해 나트륨 등에 의해 만들어진 방출선처럼 태양 광선의 스펙트럼은 같은 파장에서 두 개의 흡수선이 나타나기 때문에 태양의 대기는 나트륨을 포함하고 있다는 결론을 내리게 되었다. 키르히호프의 법칙은 달에서부터 아주 먼 은하까지 모든 스펙트럼을 분석하는데 사용하고 있다.

〈표 V-5〉 별들의 스펙트럼 분류

분광형/색	추정온도(K)	주요특징	예
O/보라	> 28000	상당히 작은 흡수선, 이차 이온화된 질소선, 3가 규소 이온 및 다른 이온화된 원자들의 방출선.	10 Lacertae
B/파랑	10000-28000	중성 헬륨, 1차 및 2차 이온화된 규소, 1차 이온화된 산소 및 마그네슘선, 수소선 등이 O-형별들에서보다 더 강하게 나타난다.	Rigel Spica
A/파랑	7500-10000	강한 수소선, 1차 이온화된 마그네슘, 구소, 철, 티타늄, 칼슘 및 다른 원자들의 방출선, 몇몇 중성금속선들도 약하게 나타난다.	Sirius Vega
F/청백	6000-7500	수소선이 A-형별보다는 약하지만 뚜렷하게 나타난다. 1차 이온화된 칼슘, 철과 크롬선 이외에 다른 금속선들과 같이 중성철과 중성크롬선이 보인다.	Canopus Procyon
G/흰색에서 노랑	5000-6000	이온화된 칼슘선이 가장 뚜렷한 분광학적 특징을 보인다. 이온화된 금속선들과 중성 금속선들이 많이 나타난다. 수소선은 F형 별들보다는 약하다. CH분자선 띠가 강하게 보인다.	태양
K/오렌지에서 빨강	3500-5000	중성 금속선이 우세하다. CH 분자선 띠가 아직 존재한다.	Ardturus Aldebaran Betelgeuse
M/빨강	< 3500	강한 금속선과 산화티타늄의 분자선 띠가 우세하다.	Antares

탐 구 활 동 (1)

준비물 | 직시 분광기, A4 용지, 태양, 형광등, 백열등의 표준 스펙트럼

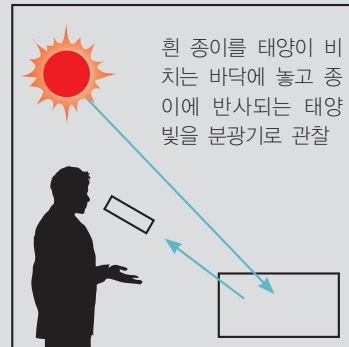
태양 스펙트럼의 관찰

태양의 스펙트럼을 관찰할 시에 분광기의 슬릿에 태양빛이 들어오게 하여 태양의 분광을 할 수 있다. 태양빛이 직접 슬릿에 입사하면 시력을 손상시킬 수 있으므로 절대 태양빛이 직접 슬릿이나 분광기에 들어오지 않도록 해야 한다.

- 1) 〈그림 1〉과 같은 직시분광기를 이용하거나 CD분광기와 같은 간이분광기를 직접 만들어 태양의 스펙트럼과 기타 광원의 스펙트럼을 관찰하고 비교해 보자.



〈직시분광기〉



2) 분광기를 통해 관찰하면 슬릿의 모눈종이의 위에 연속 스펙트럼과 선 스펙트럼이 나타날 것이다.
분광기에 나타난 스펙트럼을 자세히 들여다보고 어떤 특성이 있는지 살펴보자.

결과 및 토의

1) 태양 스펙트럼을 실험실 광원의 스펙트럼과 비교하여 공통점과 차이점을 말해 보자.

종 류	스펙트럼					
	V	B	G	Y	O	R
태 양						
형광등						
백열등						

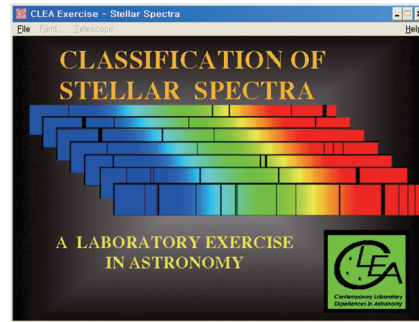
2) <그림 1>의 기준 태양 스펙트럼 사진에서 흡수선을 찾아보자. 몇 개가 보이는가? 어떤 색을 갖고 있는가? 파장은 얼마일까? 이 흡수선들은 어떤 원소가 내는 것일까?

3) 스펙트럼을 통해 알 수 있는 태양 구성 원소들은 무엇일까?

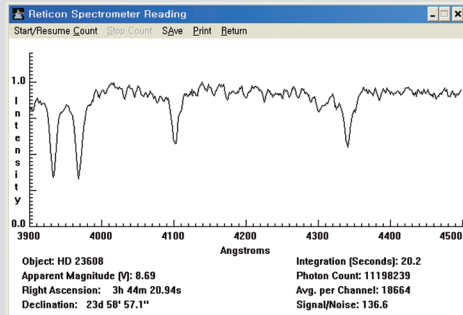
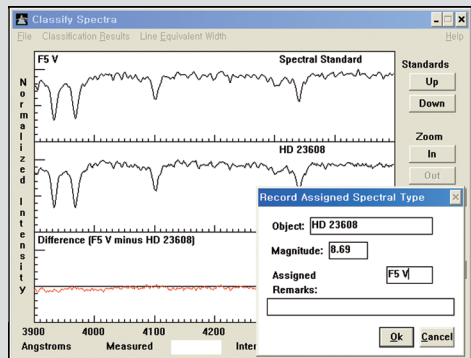
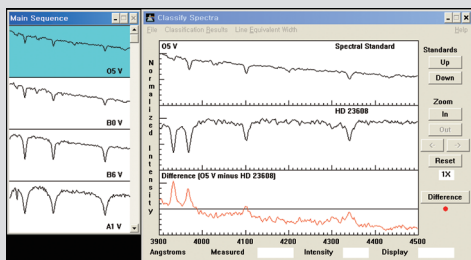
4) 간이분광기를 가지고 밤에 보이는 별들의 스펙트럼을 관찰할 수 있을까?
밤에 보이는 별들의 스펙트럼은 태양의 스펙트럼과 어떻게 다를까?
다르다면 그 이유가 무엇일까?

별의 스펙트럼 가상 실험(The Classification of Stellar Spectra)

가상의 망원경을 통해 알려지지 않은 별의 스펙트럼을 얻을 수 있다. 알려지지 않은 별의 스펙트럼과 잘 알려진 별들의 스펙트럼을 비교하여 분광형을 결정할 수 있다. 미지 항성의 스펙트럼을 확인하고, 각 별의 스펙트럼 종류를 결정하며, 분류 결과를 이유와 함께 기록한다. 각 스펙트럼은 시각적으로 또는 디지털적으로 Atlas의 13개 표준성의 스펙트럼과 비교할 수 있다. 스펙트럼이 주어진 분광형 사이에 위치하더라도 특정 흡수선의 상대적 강도를 확인함으로써 항성의 각 스펙트럼형을 약 10 가지 세분화된 분광형으로 추정할 수 있다.



그 림	설 명
	① CLEA 프로그램 중 “The Classification of Stellar Spectra”를 설치하여 실행한 후 “File”을 눌러 Log In한다. ② “File”의 RUN을 눌러 “Take Spectra”를 실행하면 킷피크 국립천문대의 구경 0.4m(16인치) 천체 망원경 구동 화면이 나타난다. 가상 천문대 돔을 열고 망원경을 직접 구동하여 밤하늘 별들의 스펙트럼을 관측하고 분류해 보자.
	③ Dome을 눌러 슬릿을 열면 파인더로 본 밤하늘의 넓은 모습이 나타나며, 시간이 지나갈수록 천체들이 흘러가는 모습이 나타난다. 망원경이 별을 추적할 수 있도록 Tracking을 눌러 ON 상태로 전환시킨다. ④ 관측 “Field”를 M45 플레이아데스 성단으로 바꾼다. 스펙트럼을 측정할 별을 N, S, E, W 키를 눌러 망원경 시야의 중앙에 놓는다. 망원경 이동속도(Slew Rate)는 1~16까지 변환시킬 수 있다. 그런 후 “change view”를 눌러 분광기 시야로 바꾼 후 슬릿 중앙에 놓고 “Take Reading” 키를 누르면 분광기의 창이 열려 스펙트럼을 측정할 수 있게 된다.

⑤ 별의 스펙트럼을 얻기 위해 메뉴의 “Start/Resume count”를 선택하면 분광기가 시작된다.

- 별에서 오는 광자는 모든 파장대에 걸쳐 있으며, 광자의 일부는 배경 하늘로부터 온다.
- S/N비가 낮으면 무작위한 잡음처럼 보인다.
- S/N비가 커지면 잘 형성된 스펙트럼이 나타난다. 스펙트럼의 파장별 최고 강도가 1.0이 되도록 조정된다.

※ S/N비(Signal/Noise Ratio)란 입력 신호에 대한 잡음의 비율을 말하며, 이 수치가 높을수록 입력 신호에 대한 신뢰가 높아진다.

⑥ 데이터 수집을 멈추고 스펙트럼 진척을 점검하기 위해 “Stop Count” 버튼을 누르면 각 파장대에서의 강도를 나타내는 점들을 연결하여 스펙트럼이 나타난다.

⑦ “Save”를 눌러 스펙트럼을 측정한 별을 저장하고 필드의 다른 별들의 측정을 반복한다.

⑧ 성단을 이루고 있는 별들의 스펙트럼 측정이 끝난 후 별의 스펙트럼형을 알기 위해 “File”의 “Run”을 눌러 “Classify Spectra”를 실행한다.

⑨ 스펙트럼을 측정한 데이터를 불러오기 위해 “File”의 “Unknown Spectra”의 “Saved Spectra”를 눌러 분석할 별을 선택하면 저장한 별의 스펙트럼이 창의 가운데 나타난다.

⑩ 스펙트럼 분류창에서 “File”을 눌러 “Atlas of Standard Spectra”를 선택한 후 나타나는 것 중 “Main Sequence”를 선택한다. 그러면 Atlas의 O5 V에서 M5 V까지 13개 분광형이 나타나는 데 한번에 4개를 확인할 수 있고, 스크롤을 이용하여 나머지를 볼 수 있다. 스펙트럼을 알고자 하는 별과 비교하여 별의 스펙트럼을 결정한다.

⑪ 오른쪽 하단의 “Difference”를 체크해 두면 두 별의 파장별 스펙트럼 세기의 차이를 보여주는데 이 차이가 최소가 되는 스펙트럼형을 찾는다.

⑫ 스펙트럼형이 결정되면 “Classification Result”의 “Record”를 눌러 스펙트럼형을 기록하고 저장한다.

⑬ 스펙트럼형이 결정된 별의 주요 흡수선이 어떤 원소에 의한 것인가를 알려면 “File”의 “Spectral Line Table”를 누르면 그림과 같은 “Spectral Line Identification”이 나타난다. 흡수선을 마우스로 더블클릭하면 흡수선 파장에 해당하는 원소의 종류를 나타내준다.

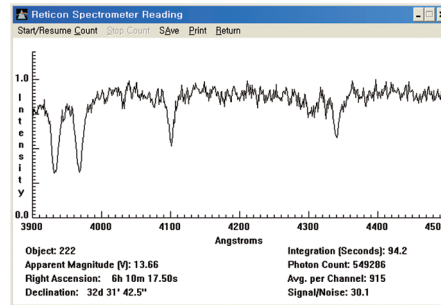
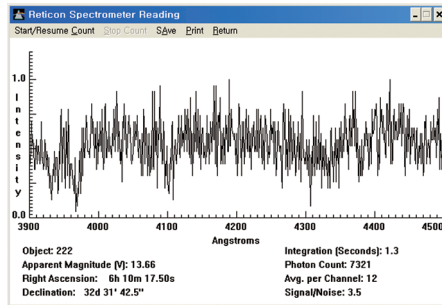
결과 및 토의

1) 산개 성단인 플레이아데스(Pleides, M45) 성단 내의 미지의 별들에 대한 스펙트럼 측정을 한 후, 스펙트럼형과 겉보기 등급을 다음 표에 기록해 보자.

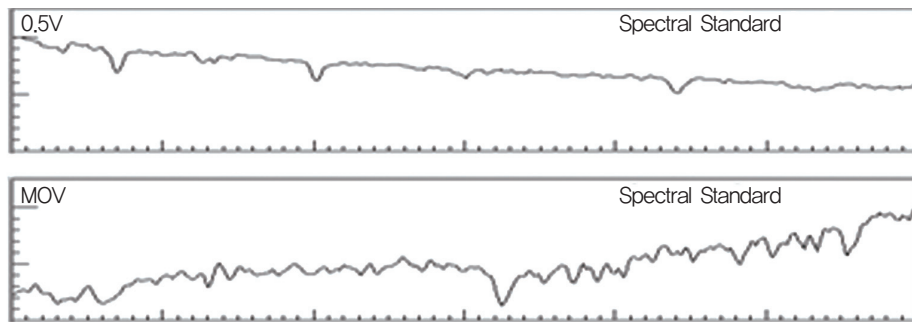
번호	별의 명칭	스펙트럼형	겉보기 등급(m)	번호	별의 명칭	스펙트럼형	겉보기 등급(m)
1				11			
2				12			
3				13			
4				14			
5				15			
6				16			
7				17			
8				18			
9				19			
10				20			

2) 천문학자들은 별의 스펙트럼을 어떻게 결정하는지 탐구 결과를 통해 설명해 보자.

- 3) 천문학자가 별의 스펙트럼을 얻기 위해 천체 분광기를 사용할 때, 어두운 별의 측정 시간을 길게 하는 이유를 S/N비를 이용하여 설명해 보자.



- 4) 오른쪽 두 별 중 온도가 높은 별은 어느 것인가?
왜 그런지 설명해 보자.



- 5) 어떤 별의 스펙트럼형을 알고 있을 때 천문학자들이 그 별까지의 거리를 알기 위해 필요한 것은 무엇인가? 1번의 자료를 이용하여 플레이아데스 성단의 거리를 구해보자.

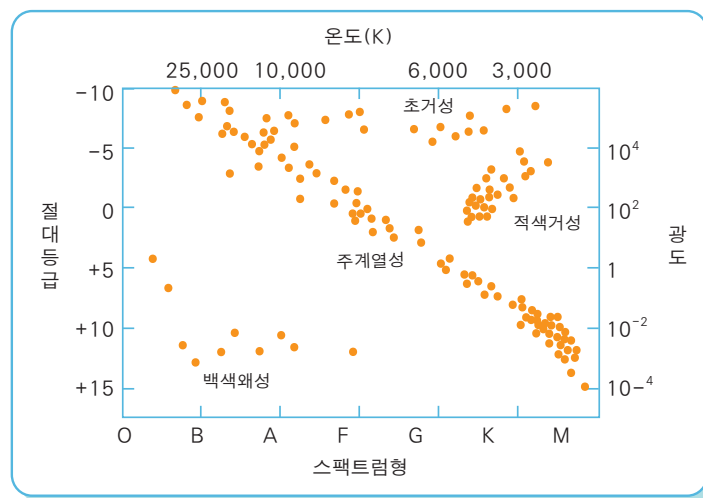
11

H-R도로 알아보는 별의 물리적 성질과 일생

별의 광도(절대 등급)와 표면 온도(스펙트럼형, 색지수)와의 관계는 1911년 덴마크의 헤르츠스프룽(E. Hertzsprung)과 1913년 미국의 러셀(H. N. Russell)에 의해 독자적으로 연구되어 발표되었다. 별의 스펙트럼형(분광형)을 가로축, 절대 등급을 세로축으로 하여 작성한 도표를 그들 이름의 머리글자를 따서 H-R도라고 한다. 분광형은 주로 별의 표면 온도로 결정되고 절대 등급은 별의 광도(단위시간당 방출되는 복사 에너지)와 직접 연결되어, 가로축과 세로축으로 각각 온도, 광도가 쓰이기도 한다.

H-R도에서 거성이나 초거성은 같은 분광형의 주계열성에 비교해서 반지름이 커서 붙여진 이름이다. 초거성이나 거성은 주계열성에 비해 반지름이 수십~수백 배에 이르며, 주계열성보다 어두운 백색왜성은 같은 분광형의 주계열성보다 절대 등급이 약 10등급 크며, 반지름은 분광형이 같은 주계열성의 약 1/100 정도이다.

태양 근처의 별들을 조사해 보면 약 90% 이상이 주계열성이고, 백색왜성이 9%, 초거성과 거성은 1% 정도이다. 주계열성은 광도가 높은 별, 즉 표면 온도가 높은 별일수록 질량이 크다는 사실이 밝혀졌다.



〈그림 V-26〉 다양한 별들의 H-R도 상의 분포

H-R도 상에 보다 많은 별들의 공간적 분포를 보면 분류가 가능한 뚜렷한 특징이 존재함을 볼 수 있다. 즉 별들이 모든 영역에 고르게 분포하는 것이 아니라 특정한 곳에서만 주로 관측된다. 이와 같은 별들은 H-R도 상의 분포에 따라 크게 세 그룹으로 분류가 가능하다.

(1) 대각선의 띠 상에 90% 이상 되는 대부분의 별들이 존재한다.

이와 같은 별들을 주계열성(main sequence star)이라고 하며 중심부에서 수소핵융합에 의해 유지되고 있는 별이다. 별들의 대부분이 주계열성에 존재한다는 것은 별들이 이와 같은 상태에 오랫동안 머무를 수 있다는 것으로 해석할 수 있다. 한편 주계열성의 분포를 보면 두꺼운 띠의 형태로 나타난다. 이는 다음의 두 가지 효과로 해석할 수 있다.

첫째, 별의 질량에 따라 H-R도 상에 나타나는 위치가 달라지고

둘째, 별들이 진화함에 따라 H-R도 상의 위치가 조금씩 변화되어 왔다.

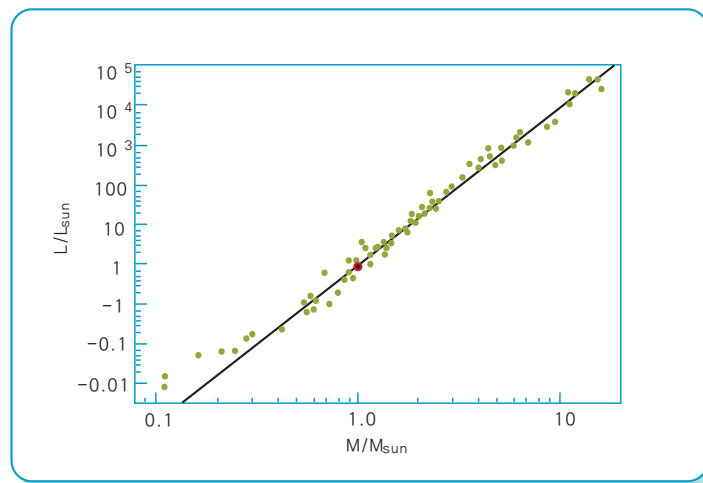
주계열성들은 온도와 광도 사이에 밀접한 상관관계가 있다. 즉 온도가 높으면 광도도 크다. 이는 별의 특성 중 질량이라는 한 요소에 의해 주로 결정되기 때문이다.

(2) 낮은 온도에도 불구하고 매우 큰 광도를 나타내는 별들이 존재한다.

이와 같은 별을 거성(giant star)이라 부른다. 별의 광도는 온도뿐만 아니라 별의 반경에도 관계한다. 별의 광도를 반경과 온도로 나타내면 다음과 같다.

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 (\sigma = 5.670400(40) \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4})$$

따라서 온도가 낮지만 광도가 큰 거성(giant star)은 반경이 매우 큰 별이다. 한편 거성은 매우 밝아서 멀리서도 잘 관측될 수 있다. 그러나 관측된 거성의 개수는 주계열성에 비해 매우 적다. 이는 거성의 상태로 존재할 수 있는 시간이 매우 짧다는 것을 나타낸다.



〈그림 V-27〉 거리가 잘 알려진 쌍성의 질량-광도 관계

(3) 매우 높은 온도에도 불구하고 매우 작은 광도를 나타내는 별들이 존재한다. 이와 같은 별을 백색왜성(white dwarf)이라고 부른다. 별의 광도를 나타내는 위의 식에서 알 수 있듯이 온도가 매우 높지만 광도가 작은 백색왜성은 반경이 매우 작아야 한다. 관측된 백색왜성의 개수가 적다는 것은 관측에 의한 선택효과를 고려하여 해석해야 한다. 즉 너무 어두워 잘 관측되지 않는다는 것이다.

쌍성을 이루는 별들은 케플러 3법칙을 사용하여 별의 질량을 알 수 있다. 쌍성을 이루고 있는 주계열성들의 질량과 광도 사이의 관계를 나타내면 위의 <그림 V-24>와 같이 밀접한 상관관계가 있음을 볼 수 있다. 즉 주계열성들은 질량이 클수록 광도가 크다. 이와 같은 관계를 질량-광도 관계라고 하며, 주계열성은 질량이나 광도를 알면 광도나 질량을 추정할 수 있다. 하지만 질량-광도 관계는 주계열성의 경우는 잘 만족되지만 거성, 초거성, 백색왜성에는 성립되지 않는다.

슈테판-볼츠만 법칙에 의하면 표면 온도가 T인 별의 표면에서 단위 면적 당 단위 시간에 방출하는 에너지량(E)은

$$E = \sigma T^4 (\sigma : \text{슈테판-볼츠만상수})$$

으로 나타낸다.

별의 반지름을 R이라고 하면, 별의 표면에서 단위 시간에 방출하는 총 에너지, 즉 광도(L)는

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$$

이고 반지름은 다음과 같다.

$$R = \frac{\sqrt{L}}{(T/T_{\odot})^2}$$

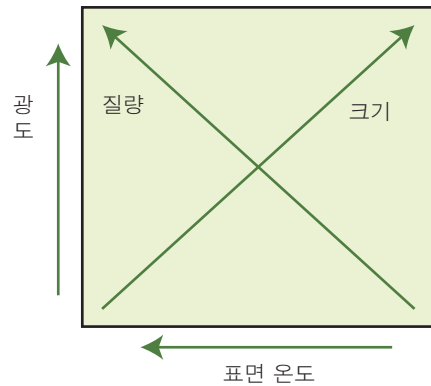
따라서 별의 반지름은 광도가 클수록, 표면 온도가 낮을수록 크다. 만약 분광형이 같고 밝기가 다른 두 별이 있다면, 두 별의 표면 온도가 같으므로 밝은 별일수록 반지름은 커야 한다. 주계열성, 거성, 초거성, 백색왜성의 크기를 비교하면 <표 V-6>과 같다.

<표 V-6> 별의 종류와 크기

별	종 류	분광형	절대 등급	반지름(태양=1)
베텔류스	초거성	M	-3.0	~500
알데바란	거 성	K	-0.1	60
태 양	주계열성	G	+4.8	1
시리우스B	백색 왜성	A	+11.2	~0.01

1897년 미국의 피커링(R. C. Pickering)은 표면 온도가 동일한 별이라고 하더라도 어떤 별의 흡수선은 주계열성보다 가늘며, 그러한 특징을 갖는 별들은 언제나 주계열성보다 훨씬 밝다는 사실을 알게 되었다.

1927년 미국의 몰간과 키난은 별의 분광형은 물론 스펙트럼선의 폭까지 고려한 별의 광도 계급을 도입함으로써 별의 2차원적인 분류법을 제시하였다. 이들이 도입한 광도계급은 I(초거성), II(밝은 거성), III(보통 거성), IV(준거성), V(주계열성), VI(준왜성) 등으로 분류했다. 이 분류법에 의하면 태양은 G2V에 해당한다.



〈그림 V-28〉 별의 물리량들 간의 관계

탐 구 활 동 (1)

준비물 | 별의 분광형과 절대 등급표

H-R와 별의 분류

이 탐구에서는 별의 분광형과 절대 등급을 이용하여 H-R도를 그리고, H-R도에서 별의 위치에 따라 별을 분류하여 H-R도 상의 별들이 어떤 진화 단계에 있는지 알아보자.

- 1) 그래프 용지의 가로축에는 O, B, A, F, G, K, M의 분광형을, 세로축에는 위쪽으로 갈수록 밝은 별이 표시되도록 절대 등급을 나타낸다.
- 2) 〈표 1〉을 보고 주어진 자료의 별들을 좌표 상에 점으로 표시한다.
- 3) 완성된 그래프에서 별의 분포에 따라 몇 개의 집단으로 구분한다.

결과 및 토의

- 1) 그래프에서 별들은 몇 개의 집단으로 구분할 수 있는가?
- 2) 각 집단의 별의 표면 온도, 광도, 반지름, 밀도 등을 비교해 보자.
- 3) 태양은 어느 집단에 속하는 별인가?
- 4) 가로축의 분광형 대신에 쓸 수 있는 물리량 두 가지를 알아보자.
- 5) 그래프상의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 분포된 별의 집단에서 별의 밝기와 표면온도 사이에는 어떤 관계가 있는가?
- 6) 별과 태양의 절대 등급을 알고, 별의 분광형으로부터 표면 온도를 구할 수 있다면, 별의 반경은 어떻게 구하는지 알아보자.

〈표 1〉 별의 분광형과 절대 등급표

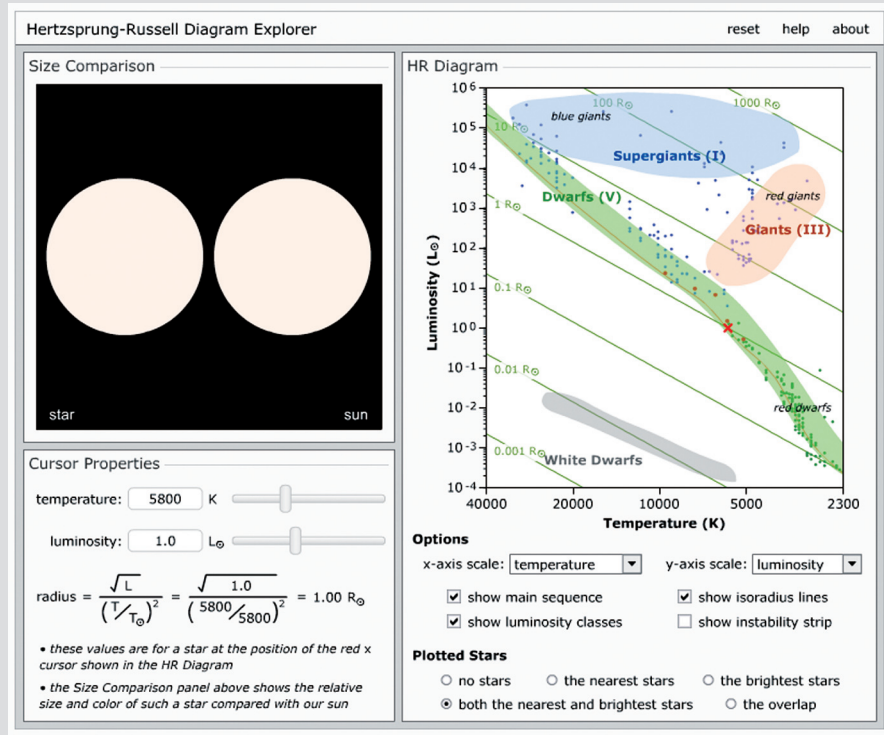
번호	별이름	분광형	절대등급	번호	별이름	분광형	절대등급
1	Naos	O5	-5.0	38	Caph	F2	1.7
2	Alnitak	O9	-5.0	39	Procyon	F5	2.8
3	Mintaka	O9	-5.1	40	Sadir	F8	-3.5
4	Cih	B0	-1.5	41	α Centauri	G0	4.7
5	Alnilam	B0	-6.0	42	Capella	G0	-0.5
6	β Crucis	B0	-4.5	43	Sun	G1	4.8
7	Acrux	B1	-2.7	44	Diphda	K1	0.8
8	ϵ Centauri	B1	-2.4	45	Schedar	K0	-1.0
9	Murzim	B1	-3.6	46	Arcturus	K0	0.0
10	β Centauri	B1	3.1	47	40 Eridani	K0	6.0
11	α Crucis	B1	-2.7	48	Pollux	K0	1.0
12	Spica	B2	-2.2	49	σ Carinae	K0	-3.4
13	Bellatrix	B2	-2.9	50	Eridani	K2	6.2
14	Adhara	B2	-3.7	51	Almach	K3	-1.3
15	Achernar	B5	-2.6	52	Fom	K3	-4.0
16	Rigel	B8	-6.2	53	Aldebaran	K5	-0.5
17	Regulus	B8	-0.7	54	λ Velorum	K5	-1.9
18	Alpheratz	B8	-0.9	55	Groombridge 1618	K5	8.5
19	τ Corvi	B8	-0.5	56	Kapteyn's Star	M0	11.2
20	Vega	A0	0.5	57	Antares	M1	-2.4
21	40 Eridani B	A0	11.1	58	Lacaille 8760	M1	8.6
22	Wolf 1346	A0	9.8	59	Lacaille 9352	M2	9.4
23	Hertzsprung	A0	11.0	60	Betelgeuse	M2	-5.6
24	δ Velorum	A0	0.1	61	Scheat	M2	-0.9
25	Sirius A	A0	1.3	62	Lalande 25372	M2	10.2
26	Bega	A0	0.6	63	CD-37 ° 15492	M3	10.3
27	Hyades No.16	A0	11.2	64	CD-46 ° 11540	M4	11.3
28	Deneb	A2	-4.8	65	Kruger	M4	11.9
29	Fomalhaut	A3	2.1	66	BD+5 ° 1668	M4	12.2
30	Altair	A5	2.4	67	Ross 614	M5	12.9
31	Ross 627	A5	13.6	68	BD-12 ° 4525	M5	11.9
32	Sirius B	A5	11.4	69	Barnard's Star	M5	13.2
33	Altair	A5	-2.5	70	CD-44 ° 11909	M5	-1.5
34	Canopus	F0	-4.6	71	Pegasi	M5	-1.5
35	Luyten 745-6	F0	14.3	72	Wolf 424	M6	14.3
36	Van Maanen's Star	F0	14.2	73	Herculis	M8	-2.4
37	Scutulum	F0	-4.0				

탐 구 활동 (2)

H-R도에서 별의 물리량 비교

다음 사이트에서 H-R도 탐구 프로그램을 실행한다.

<http://astro.unl.edu/naap/hr/>



결과 및 토의

- 1) 광도의 변화 없이 온도가 상승하면 별의 어떤 물리량이 어떠한 변화를 보이는가?
- 2) 온도와 광도를 변화시켜 H-R도 상에서 별의 위치를 나타내보자.
- 3) 온도 이외에 x축에 사용할 수 있는 물리량은?
- 4) 온도가 20,000K인 주계열성을 표시하고, 이 별의 광도와 크기가 태양의 몇 배나 되는지 구해보자.

12

주계열 맞추기에 의한 성단의 거리

성단은 별들이 모여 있는 형태와 별의 종족에 따라 산개성단과 구상성단으로 구분된다. 개개 성단에 속한 별들은 동시에 탄생하였지만 서로 다른 질량을 가지며, 분포 · 나이 · 중금속 함량비 및 H-R도에서의 위치 등에 큰 차이를 보이므로 별과 은하의 진화를 연구하는 데 필요한 귀중한 자료이다.

산개성단은 지금까지 1,000여 개가 알려져 있으며, 페르세우스자리 h와 x의 이중성단, 외뿔소자리의 NGC 2264처럼 수백만 년 정도의 젊은 성단부터 안드로메다자리의 NGC 752, 게자리의 M67 등과 같이 수십억 년이나 된 늙은 성단까지 있다. 산개성단은 젊은 성단일수록 은하면에 집중되어 있다. H-R도를 보면 산개성단은 성단의 나이에 따라서 분광형 O형의 절대 등급 -7등(페르세우스자리의 이중성단)부터 분광형 M형의 +3등(M67)까지의 주계열별을 가지고 있으며, 적은 수의 거성도 존재한다. 그 외에도 많은 쌍성과 약간의 백색왜성이 발견된다. 산개성단에서 발견되는 성간물질인 수소와 헬륨을 제외한 무거운 원소들의 양은 성단의 나이와 비례관계가 있는데, 젊은 성단일수록 그 양이 많아지고, 늙은 성단에서는 태양 주변의 평균값보다 훨씬 작은 값을 보인다.

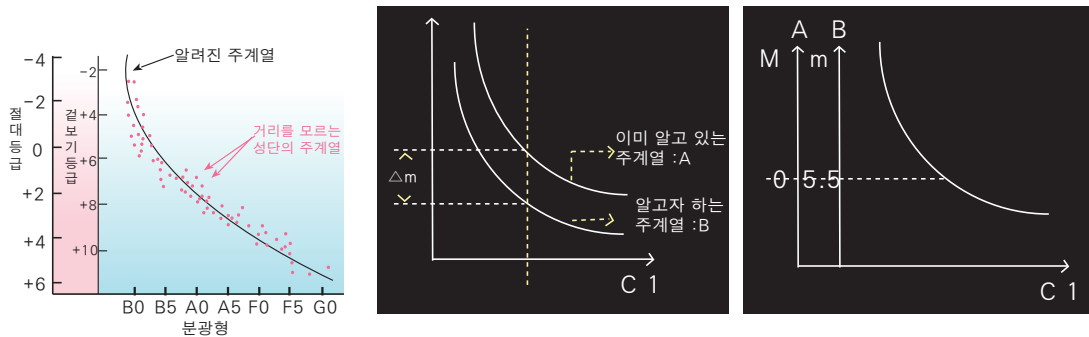
성단의 구성원은 거의 같은 장소에서 같은 시기에 태어났기 때문에 모든 구성원은 거의 같은 거리에 있다고 생각할 수 있다. 따라서 어떤 성단 내의 항성에서 색지수-실시 등급도를 그리면 H-R도와 유사한 그래프를 얻을 수 있다. 표준 주계열의 H-R도와 성단의 색-등급의 H-R도를 같은 스케일로 겹쳐 그리게 되면, 성단의 거리에 따라 성단 주계열의 위치가 표준 주계열의 위치와 다르게 나타난다.

성단의 거리는 별의 경우와 같이 거리 지수를 구하여 알 수 있다. 예를 들어 어느 성단의 실시 등급이 m_v , 절대 등급을 M_v 라면, 성단의 거리 r (단위 : pc = 3.086×10^{13} Km)과는 다음 관계가 성립한다.

$$m_v - M_v = -5 + 5 \log r$$

주계열 별은 어느 성단 내에 위치하든, 온도가 같으면 광도(절대 등급)이 거의 동일하다. 따라서 성단의 색-등급 H-R도를 표준 주계열의 H-R도와 비교하여 두 주계열의 등급 차이를 구하면 성단의 거리지수($m_v - M_v$)를 구할 수 있는데, 이러한 방법을 주계열 맞추기(main

sequence fitting)라 한다.



〈그림 V-29〉 주계열 맞추기

탐 구 활 동 (1)

! 준비물 ! 자, 모눈종이, 트레이싱지

주계열 맞추기를 이용한 플레이아데스 성단의 거리구하기

앞에서 H-R도를 대신할 수 있는 성단의 색-등급 H-R도를 표준 주계열의 H-R도와 비교하여 플레이아데스 산개 성단까지의 거리를 구할 수 있다는 것을 알았다. 주계열 맞추기를 이용하여 플레이아데스 성단까지의 거리를 구하는 방법을 알아보자.

- 1) 〈표 1〉의 표준 주계열 자료를 사용하여 가로축에는 (B-V)를, 세로축에는 Mv로 하는 색-등급 H-R도를 모눈종이에 작성한다.

〈표 1〉

B-V	Mv	U-V	분광형	유효 온도
-0.25	-2.10	-0.89	B2	20300
-0.20	-1.10	-0.70	B3	18000
-0.15	-0.360	-0.52	B5	15000
-0.05	0.50	-0.33	B9	12800
0.00	1.10	-0.16	A0	11800
0.05	1.50	0.00	A2	11000
0.10	1.74	0.05	A3	9700
0.20	2.00	0.07	A7	9100
0.30	2.45	0.02	F0	8100
0.40	2.95	-0.01	F3	7000
0.50	3.56	0.00	F7	6800
0.60	4.23	0.08	G0	6300
0.70	4.79	0.24	G8	6000
0.80	5.38	0.43	K0	5320
0.90	5.88	0.63	K2	5120
1.00	6.32	0.87	K3	4760
1.10	7.20	1.03	K4	4500
1.20	7.66	1.13	K5	4400
1.30	8.11	1.21	K6	4000

2) 다음 <표 2>에 플레이아데스 산개 성단을 이루는 별의 관측 자료가 주어져 있다. 이로부터 가로축에는 (B-V)를, 세로축에는 m_v 로 하는 색-등급의 H-R도를 표준 주계열의 H-R도와 동일한 척도로 트레이싱지에 작성한다.

<표 2>

번호	B-V	m_v	번호	B-V	m_v
1	+0.085	8.24	20	+0.038	7.85
2	+0.043	8.06	21	-0.215	5.74
3	+0.332	9.60	22	-0.197	6.41
4	+0.118	8.14	23	-0.242	4.17
5	+0.414	9.83	24	+0.526	10.42
6	-0.224	5.44	25	-0.073	7.34
7	-0.297	3.70	26	+0.209	8.09
8	+0.512	10.37	27	+0.620	10.20
9	+0.197	8.56	28	+0.343	9.27
10	-0.255	5.64	29	+0.527	10.51
11	-0.289	4.29	30	-0.148	6.81
12	+0.307	8.97	31	+0.149	8.37
13	+0.067	8.03	32	+0.339	9.44
14	+0.211	8.58	33	-0.140	6.98
15	+0.487	10.11	34	+0.046	7.64
16	+0.006	7.15	35	-0.133	7.25
17	+0.425	9.70	36	-0.001	7.75
18	+0.369	9.42	37	-0.098	6.80
19	-0.249	3.86	38	-0.031	6.93

3) 표준 주계열의 색-등급 H-R도 위에서 플레이아데스의 색-등급 H-R도를 세로축 방향으로 움직여 색-등급 H-R도의 주계열이 같은 (B-V)에서 겹치도록 조작한다.

4) 두 색-등급 H-R도의 영점(zero point) 차이를 구한다. 이때, 조작상의 오차를 줄이기 위해 같은 작업을 여러 번 반복하여 평균을 취한다. 이렇게 구한 값이 이 성단까지의 거리 지수($m_v - M_v$)이다. 플레이아데스 성단까지의 거리는 다음의 식으로부터 구할 수 있다.

$$m_v - M_v = -5 + 5 \log r$$

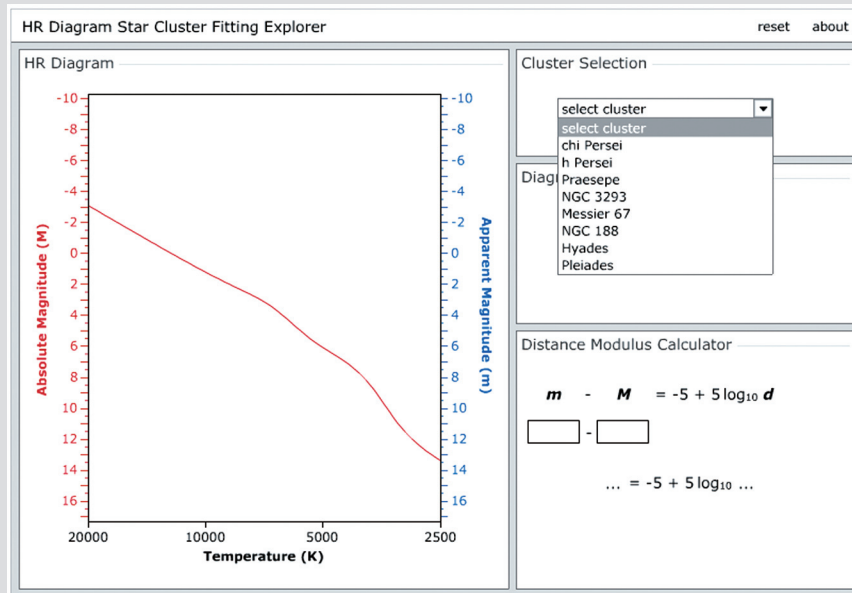
결과 및 토의

- 1) 플레이아데스 성단까지의 거리는 몇 pc인가?
- 2) 표준 주계열 대신 거리를 알고 있는 다른 성단의 색-등급 H-R도를 이용하여 거리를 구해 보고, 서로 어느 정도의 차이가 생겼는지 비교해 보자.
- 3) 위의 두 방법으로 성단까지의 거리를 구하는데 있어서 어떠한 가정이 필요한가?
- 4) 성단의 주계열 상단부는 성단에 따라 그 정도는 다르지만 약간씩 오른쪽으로 구부러져 있다. 그 이유는 무엇인가?

탐 구 활동 (2)

NAAP 인터넷 가상 실험실을 이용한 주계열 맞추기

NAAP(Nebraska Astronomy Applet Project)는 네브래스카 대학이 개발한 시뮬레이션을 이용한 기초천문학 학습 프로젝트로 천체의 거리 구하기(Cosmic Distance Ladder)를 포함한 15개의 모듈로 이루어져 있다. 천체의 거리 구하기 모듈은 레이더 측정, 연주 시차, 거리지수 법칙, 분광 시차, 주계열 맞추기, 세페이드 변광성의 주기-광도 관계, 초신성, 허블법칙 등을 이용하여 별의 거리를 구하는 모듈로 주계열 맞추기는 별의 거리를 구하기 위한 가장 보편적인 방법이다. 아래 링크를 클릭하면 주계열 맞추기 프로그램이 아래와 같이 나타난다. (<http://astro.unl.edu/naap/distance/animations/clusterFittingExplorer.html>)



- 1) 8개 성단의 거리를 주계열 맞추기를 이용하여 구해 보자.
- 2) 8개 성단을 우리에게 제일 가까운 것부터 먼 것까지 순서대로 나타내 보자.
- 3) 위의 활동을 다른 천문학 교재 등의 자료를 찾아가 이해해 보자.
- 4) 8개 성단을 각 성단의 나이가 가장 많은 성단부터 적은 성단으로 나열해 보자.

NAAP 프로젝트(Nebraska Astronomy Applet Project)는 네브래스카 대학이 개발한 시뮬레이션을 이용한 기초 천문학 학습 프로젝트이다. NAAP에는 다음과 같은 자료가 준비되어 있다. 이 프로젝트는 시뮬레이션 모듈과 교사용 지도 자료 및 학생용 실습지와 평가 자료로 구성되어 있으며, 현재까지 개발된 모듈들은 다음과 같다.

Astronomy Education at the University of Nebraska-Lincoln

Home ClassAction NAAP Labs Interactives Resources Local More

The Nebraska Astronomy Applet Project
interactive, simulator-based online laboratories for introductory astronomy

ClassAction
dynamic think-pair-share questions to engage students in the astronomy classroom

RECENT NEWS
New Sidereal and Solar Time Simulator

A [Sidereal and Solar Time Simulator](#) has been added to the site. It illustrates a solar clock, a sidereal clock, the Sun, and an observer on Earth. One can advance time by a variety of different increments and see the effects on both clocks and the observer. Concepts that can be demonstrated include:

- the 4 minute difference between solar and sidereal days
- the ~366 sidereal days and ~365 solar days in a year
- alignment with the sun for solar time, alignment with the stars for sidereal time
- that sidereal time is equal to the RA of an object on the meridian -- "if it is noon on the summer solstice, what is the sidereal time?"

CURRICULUM PROJECTS

- ClassAction
- NAAP Labs
- Interactives
- Virtual Labs

RESOURCES

- Astronomy Simulations List
- ClassAction Questions List
- Miscellaneous

LOCAL PROJECTS

- Educator Workshops
- SEPP0 Outreach
- Observatories
- Summer Camp

INFORMATION

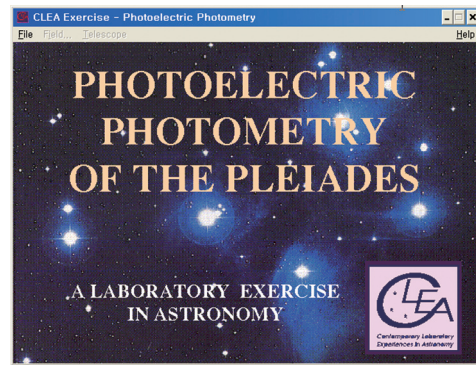
1. 태양계 모형 Solar System Models
2. 좌표와 계절 Basic Coordinates and Seasons
3. 회전하는 천구 The Rotating Sky
4. 태양의 운동 Motions of the Sun
5. 행성궤도 시뮬레이션 Planetary Orbit Simulator
6. 달의 위상 시뮬레이션 Lunar Phase Simulator
7. 흑체 복사와 UVB 필터 Blackbody Curves and UVB Filters
8. 수소 에너지 준위 Hydrogen Energy Levels
9. H-R도 Hertzsprung-Russell Diagram
10. 식쌍성 시뮬레이션 Eclipsing Binary Simulator
11. 대기의 유지 Atmospheric Retention
12. 외계행성 Extrasolar Planets
13. 변광성 측광 Variable Star Photometry
14. 천체의 거리 측정 사다리 Cosmic Distance Ladder
15. 우주의 생명 Habitable Zones

13

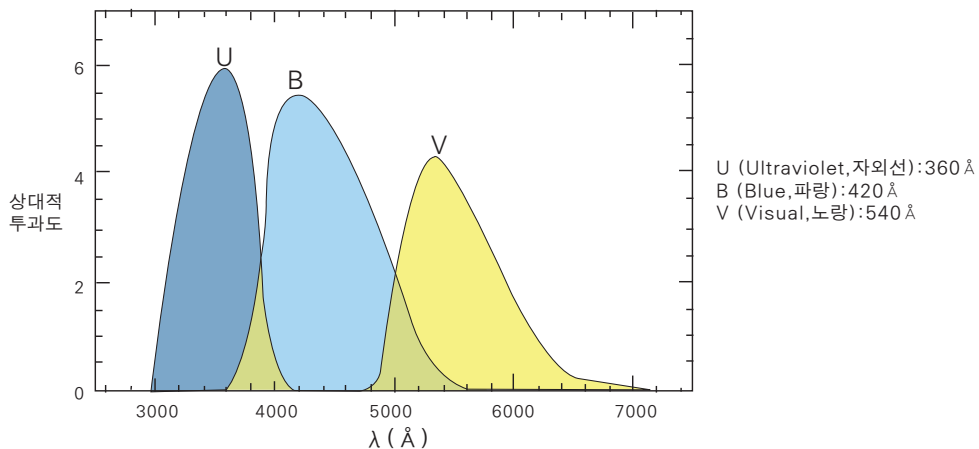
UBV 측광과 성단의 H-R도

19세기 중반에 발명된 사진술은 천문관측에 이용되면서 일대 혁명을 일으켰다. 사진 촬영은 성운이나 미광 천체 연구에 크게 도움이 되어 신성의 모양이나 행성의 위치 관계도 관측할 수 있게 되었다. 이 혁명은 검출기의 개발로 이어져서 1940~1950년대의 광전측광학으로 이어지고, 1970년대 중반에는 반도체 검출기의 등장으로 사진술 발명에 버금가는 혁명이 일어났다. 오늘날 광전자 증배관이나 CCD와 같은 검출기의 감도는 매우 높아져서 직경 60 cm 정도의 망원경이 직경 5 m의 팔로마산 망원경이 작동을 개시하였을 때(1940년대)와 비슷한 성능을 발휘할 수 있게 되었다.

별은 서로 다른 색깔을 지니고 있는데, 색은 온도의 척도이다. 별의 정확한 색을 알기 위해 천문학자들은 일반적으로 필터를 통과한 별의 밝기를 측정하는데, 각 필터는 단지 특정 파장 영역의 빛(색)만 통과시킨다. 천문학에서 일반적으로 사용되는 필터 세트는 자외선(U), 파란색



〈그림 V-30〉 CLEA: 플레이아데스 성단의 측광



〈그림 V-31〉 UBV 필터의 파장별 상대적 투과도

(B) 및 노란색(V), 빨간색(R), 적외선(I)에 상응하는 5종류의 파장에서 별의 밝기를 측정한다. 각 필터로 측정된 밝기는 보통 등급으로 표현된다.

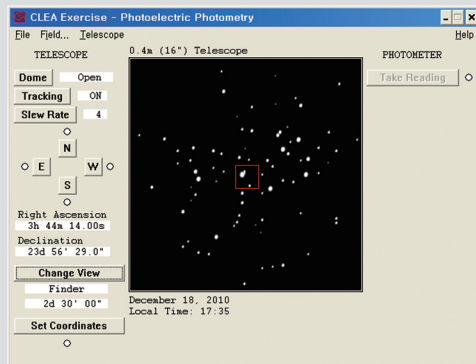
별의 색지수는 어떤 두 개의 파장에서 측정된 등급의 차이(작은 파장대 등급-큰파장대 등급)이다. 즉, $U-B$ 또는 $B-V$ 등을 색지수로 사용하고 있다. 별의 색이 온도와 관계된다는 것은 빈의 법칙으로 알 수 있다. 뜨거운 별들은 스펙트럼의 짧은 파장 영역에서 많은 에너지를 방출하며, 온도가 낮은 별들은 빨간과 적외선 같은 긴 파장에서 더 많은 에너지를 방출한다. 천문학자들은 UBV 시스템의 색지수의 원점으로 10,000 K의 표면 온도를 가진 별의 색지수가 0이 되도록 하여 사용하고 있다.

탐 구 활 동

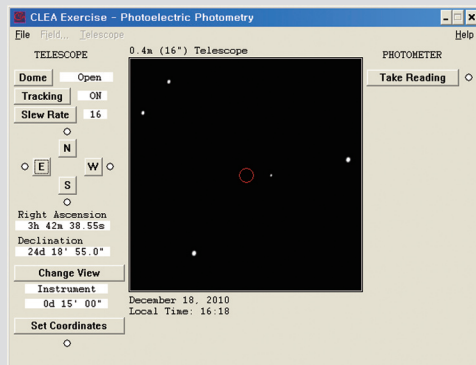
준비물 컴퓨터, CLEA 프로그램 중 “Photoelectric Photometry” 모듈

플레이아데스 성단의 측광

별의 U, B, V 등급은 광전 증배관이나 CCD와 같은 검출기에 U, B, V 필터를 달아서 측정할 수 있다. 이번 탐구 활동은 광전 증배관을 이용한 활동으로 측광계의 원리를 잘 알 수 있다.

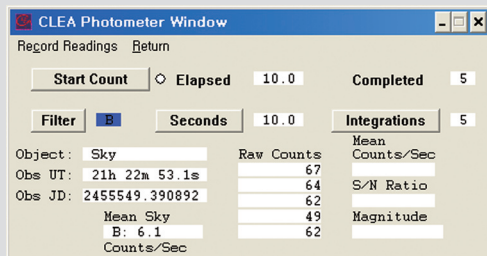


① 컴퓨터의 Clea_pho 아이콘을 더블 클릭하여 “Photoelectric Photometry” 프로그램을 실행하여 로그인하면 왼쪽 그림과 같은 화면이 나타난다. ‘File’의 ‘Run’을 실행하면 0.4m(16인치) 망원경을 사용하고 있다는 화면이 나타나면 확인을 해준다. 이후 ‘Dome’을 열고, ‘Tracking’을 켜서 별이 흐르지 않도록 하면 왼쪽과 같은 플레이아데스 성단의 사진이 나타난다.

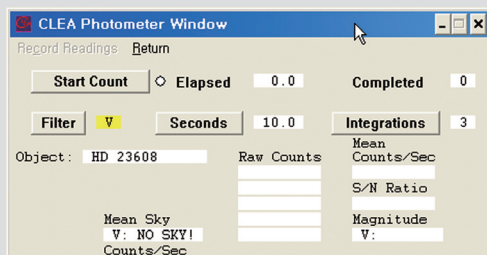


② ‘Set coordinates’를 눌러 표 12에 있는 별들의 좌표를 입력한 후에 엔터를 치면 확대된 화면이 나타난다. 측정된 별의 광도는 하늘의 밝기가 포함된 값이므로 우선 하늘 밝기의 측광부터 한다.

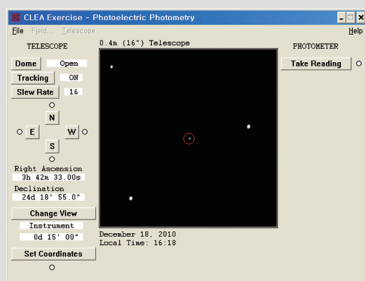
- ‘Photometer’의 동근 커서가 별에서 벗어나 빈 하늘을 가리키도록 화살표 키를 이용하여 이동한다.
- ‘Take Reading’ 키를 눌러 빈 하늘의 밝기를 필터별(B, V)로 측정한다.



- ③ Take Reading 설정: 시간(Seconds)을 10초, 측정 횟수(Integrations)를 5번으로 설정한다. 필터(Filter)의 종류(U, B, V) 중 먼저 B필터를 선택한 후 'Start Count' 버튼을 누른다. 이때 하늘의 밝기가 먼저 측정되어 있지 않으면 별의 등급이 산출되지 않는다.

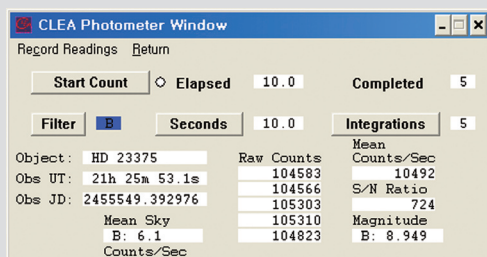


- ④ 필터를 V 필터로 바꿔 앞의 측정 과정을 반복한다.



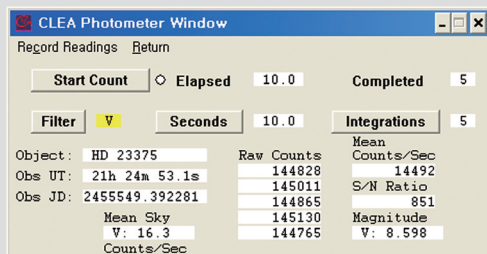
- ⑤ 측정하고자 하는 별이 커서의 중앙에 들어오도록 화살표로 이동한 후, 'Take Reading' 키를 눌러 빈 하늘의 밝기를 필터별로 측정한다.

- ⑥ Take Reading 설정: 시간(Seconds)을 10초, 측정 횟수(Integrations)를 5번으로 설정한다. 필터(Filter)의 종류(U, B, V) 중 먼저 B필터를 선택한 후 'Start Count' 버튼을 누른다.



- ⑦ 필터를 V 필터로 바꿔 (4)와 같은 과정을 반복한다.

- ⑧ 측정이 끝나면 다른 대상의 별을 설정하기 전에 'Record Reading'을 눌러 측정값을 저장한 뒤 다른 별로 이동한다.



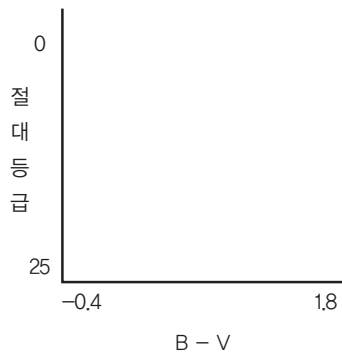
- ⑨ <표 2>의 다른 별들을 이제까지의 과정과 동일하게 반복하여 측정한 후 저장한다. 모든 측정이 끝나면 'File'의 'Data'의 'Save'를 눌러 파일을 최종 저장하면 로그인한 이름으로 엑셀 파일이 저장된다.

결과 및 토의

1) 24개의 별 중에서 적색 거성에 해당하는 별은 어떤 것이 있나? 왜 그렇게 생각하는가?

2) <표 2>의 15번 별은 어떤 종류의 별인 것으로 추정되나? 왜 그렇게 생각하는가?

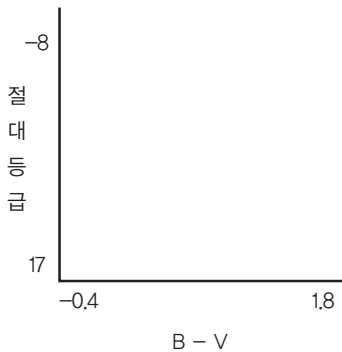
3) <표 1>의 자료를 이용하여 주계열성의 H-R도를 그래프 용지에 아래와 같이 그려보자.



<표 1> 주계열성의 절대 등급과 색지수, 스펙트럼형의 관계

절대 등급(V)	B-V	SP형
-5.8	-0.35	O5
-4.1	-0.31	B0
-1.1	-0.16	B5
-0.70	0.0	A0
2.0	0.13	A5
2.6	0.27	F0
3.4	0.42	F5
4.4	0.58	G0
5.1	0.70	G5
5.9	0.89	K0
7.3	1.18	K5
9.0	1.45	M0
11.8	1.63	M5
16.0	1.80	M8

4) <표 2>의 자료를 이용하여 플레이아데스 성단의 H-R도를 투명 트레이싱지를 이용하여 아래 그림과 같이 그려보자.



5) 위의 4)에서 그린 플레이아데스의 H-R도를 주계열성의 H-R도에 겹쳐 같은 스펙트럼형의 별들의 등급이 얼마나 차이가 나는지 알아보자. 이를 이용하여 플레이아데스의 거리를 구할 수 있는가?

6) 위의 5)에서 구한 플레이아데스 성단의 거리를 실제값과 비교해 보자. 얼마나 차이가 나는가? 차이가 나는 이유가 무엇인지 추정해 보자.

〈표 2〉 플레이아데스 성단의 측광 데이터 시트

Photoelectric Photometry Data Sheet								
Star	RA hr min sec	Dec deg min sec	Object	b	v	b-v	등급()	Sp형
1	3 41 05	24 05 11	u					
2	3 42 15	24 19 57	HD23338					
3	3 42 33	24 18 55	HD23375					
4	3 42 41	24 28 22	o					
5	3 43 08	24 42 47	t					
6	3 43 08	25 00 46	x					
7	3 43 39	23 28 58	HD 23512					
8	3 43 42	23 20 34	s					
9	3 43 56	23 25 46	q					
10	3 44 03	24 25 54	HD 23568					
11	3 44 11	24 07 23	n					
12	3 44 19	24 14 16	v					
13	3 44 27	23 57 57	HD 23630					
14	3 44 39	23 27 17	h					
15	3 44 39	24 34 47	z					
16	3 44 45	23 24 52	HD 23665					
17	3 45 09	24 50 59	HD 23712					
18	3 45 27	23 17 57	HD 23753					
19	3 45 28	23 53 41	p					
20	3 45 33	24 12 59	HD 23763					
21	3 46 26	23 41 41	r					
22	3 46 26	23 49 58	y					
23	3 46 57	24 04 51	HD 23949					
24	3 47 29	24 20 34	g					

※ 스펙트럼형(Sp형)은 이전 단원의 별의 스펙트럼 가상 실험에서 구한 플레이아데스(Pleides, M45) 성단 내의 미지의 별들에 대한 스펙트럼형을 옮겨 적는다.

14

세페이드 변광성의 주기·광도 관계

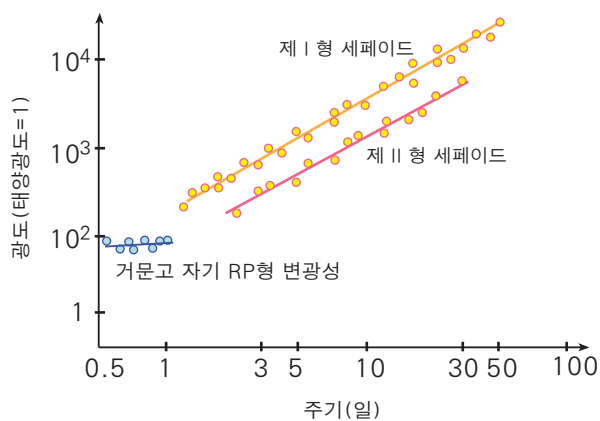
1784년 구드라익(Goodrick)은 세페우스자리에서 변광성을 발견하였는데, 이 별은 4.4등급에서 3.7등급 사이에서 5.4일마다 밝기가 변하는 것이 관측되었다. 이 별이 발견된 이후 세페이드 변광성이라는 이름이 붙여졌다. 세페이드 변광성은 별의 내부 구조가 불안정하여 수축과 팽창을 반복하는 맥동 변광성이다. 하버드 천문대의 리빗(Leavitt)은 세페이드 변광성의 변광 주기와 평균 광도 사이에 비례관계가 있다는 사실을 알게 되었는데, 이를 이용하면 변광 주기를 관측하여 절대 등급을 결정할 수 있다. 주기-광도의 관계를 가진 별들로는 세페이드 형과 거문고 자리의 RR형이 있다.

맥동 변광성은 H-R도 상에서 우측 상단에 위치하여 이들은 거성이나 초거성의 진화 단계를 거친 별이다. 맥동 변광성은 질량에 따라 제 I 형 세페이드, 제 II 형 세페이드, 거문고 자리의 RR형 별, 장주기 변광성 등으로 구분된다. 별은 초기 질량에 따라 진화 경로가 다르고 맥동 단계도 다르다. 태양 정도의 질량이나 이보다 작은 질량을 가지는 별은 주계열에서 거성 단계를 거쳐 변광 주기가 짧은 거문고 자리 RR형 변광성이 되고, 질량이 큰 별은 거성 또는 초거성을 거친 다음, 변광 주기가 긴 세페이드 변광성으로 진화된다.

맥동 변광성은 일반적으로 변광 주기가 길면 광도가 밝다는 것이 밝혀져 있다. 이것을 주기-광도 관계라고 한다. 이 관계에서 주기를 알면 광도를 구할 수 있을 뿐만 아니라 실시 등급(m_v)과 비교하여 거리까지 계산해 낼 수 있다.

$$m_v - M_v = -5 + 5 \log r$$

이 방법은 구상 성단이나 가까운 은하의 거리를 결정하는데 이용되기도 한다. 거문고 자리 RR형 변광성은 절대등급이 0.5~1의 비교적 좁은 범위에 분포하고, 평균적으로 0.75의 절대 등급을 갖는다.

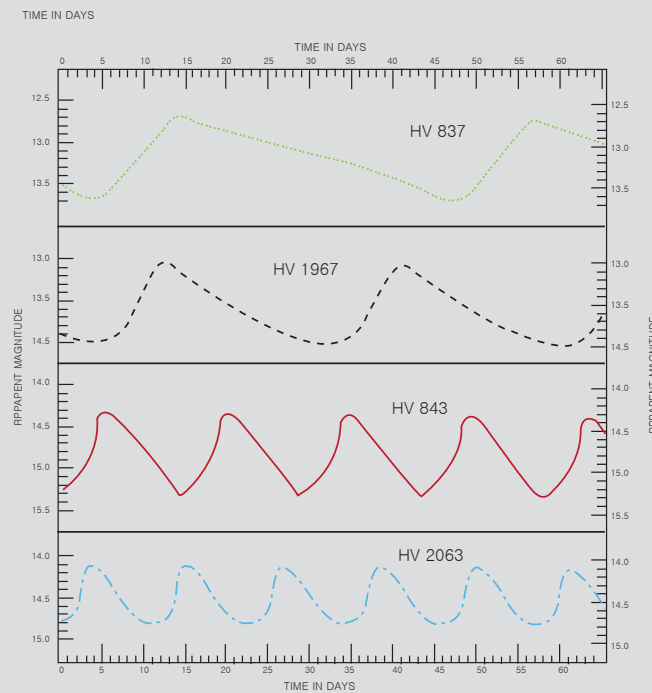


〈그림 V-32〉 맥동 변광성의 주기-광도 관계

세페이드 변광성의 주기-광도 관계

세페이드 변광성의 변광 주기와 평균 광도 사이에 비례 관계가 있다는 사실이 알게 되었는데, 이를 이용하면 변광 주기를 관측하여 절대 등급을 결정할 수 있다.

1) 아래 <그림 1>은 소마젤란 은하에서 발견된 4개의 세페이드 변광성의 몇 주 동안의 광도 곡선을 나타낸 것이다. 각 변광성의 평균 실시등급과 변광 주기를 구해 보자.



<세페이드 변광성의 몇 주 동안의 광도 곡선>

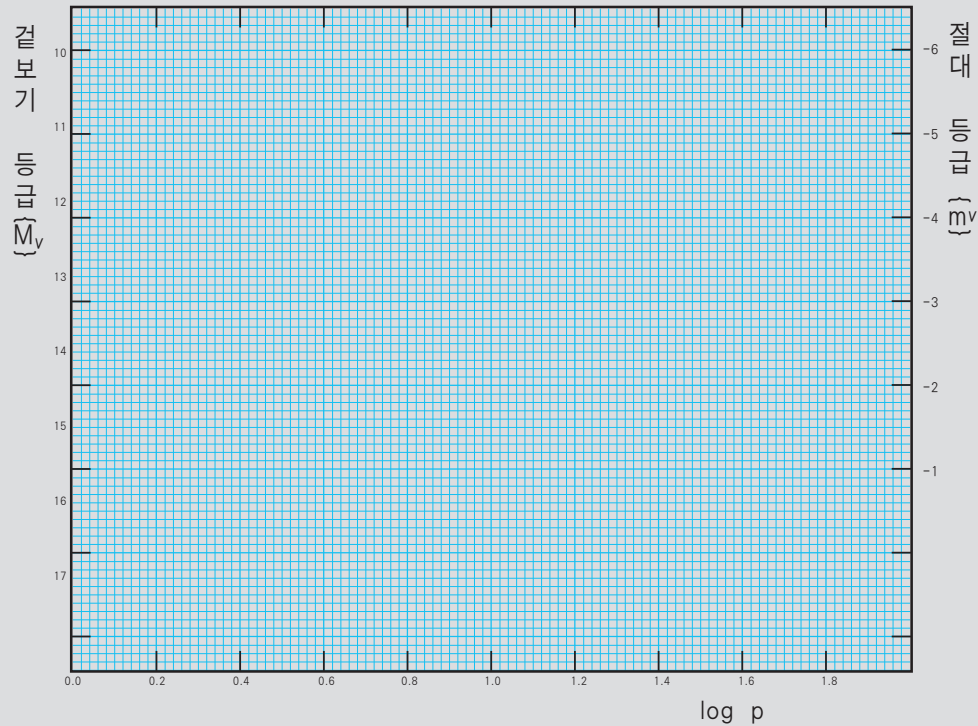
<표 1> 소마젤란 은하에서 발견된 4개의 세페이드 변광성의 물리량

구분	HV837	HV1967	HV843	HV2063
최대 실시 등급				
최소 실시 등급				
평균 실시 등급				
변광주기				
변광주기(log P)				

2) 다음 <표 2>는 소마젤란 은하 내에 있는 16개의 맥동 변광성의 변광 주기(p)와 겉보기 등급(m_v)을 나타낸 것이다. 변광 주기와 겉보기 등급과의 관계를 알아보기 위해 가로축을 $\log P$, 세로축을 실시 등급으로 하여 그래프를 그려 겉보기 등급과 변광 주기의 관계를 알아보자.

<표 2> 소마젤란 은하 내 16개 맥동 변광성의 변광 주기(p)와 겉보기 등급(m_v)

HV	$\log p$	m_v	HV	$\log p$	m_v	HV	$\log p$	m_v
2019	0.21	16.8	1987	0.50	16.0	1873	1.11	14.7
2035	0.30	16.7	1825	0.63	15.6	1954	1.22	13.8
844	0.35	16.3	1903	0.71	15.6	847	1.42	13.8
2046	0.41	16.0	1945	0.81	15.2	840	1.52	13.4
1809	0.45	16.1	2060	1.01	14.3	1837	1.63	13.1



3) 다음 <표 3>은 새플리가 구한 세페이드 변광성의 변광 주기와 절대 등급과의 관계를 나타낸 것이다. 변광 주기-절대 등급의 관계를 (2)에서 사용한 그래프 용지에 나타내보자.

<표 3> 세페이드 변광성의 변광 주기(p)와 절대 등급(M)

$\log p$	M_v	$\log p$	M_v	$\log p$	M_v
0.0	-0.4	0.6	-0.6	1.2	-3.6
0.2	-0.8	0.8	-2.2	1.4	-4.4
0.4	-0.2	1.0	-2.9	1.6	-5.1

결과 및 토의

- 1) 소마젤란 은하 내의 맥동 변광성의 주기와 실시등급과의 관계를 그래프에서 세페이드 변광성의 실시 등급과 $\log P$ 와는 어떤 관계가 있는가?
- 2) 위의 변광성의 실시 등급과 변광 주기 사이에는 어떤 관계가 있는가?
- 3) 세페이드 변광성의 주기-절대 등급(광도) 사이에는 어떤 관계가 있는가?
- 4) 소마젤란 은하의 거리 지수($m_v - M_v$)를 구해 보자. 소마젤란 은하까지의 거리는 몇 pc인가?
- 5) 어느 세페이드 변광성을 관측하여 얻어진 변광 주기가 20일이고 평균 시등급(m)이 20이었다면 이 천체까지의 거리는 얼마일까?

15

외부은하와 은하의 분류

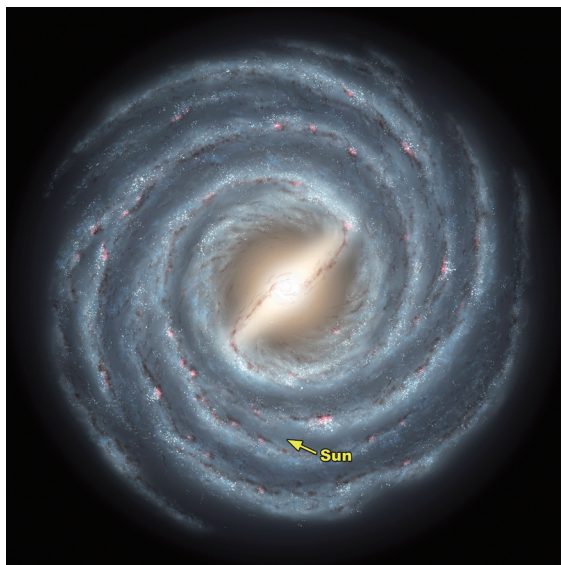
1. 은하의 분류

우주에는 수십 억 개의 은하가 존재한다. 20세기 초반까지만 하더라도 외부은하의 존재에 대해 거의 모르고 있었으나 세페이드 등을 통한 거리 측정이 이루어지면서 많은 성운들이 실제 외부은하였다는 사실이 알려졌다. 외부은하는 모양, 크기, 질량 등 모든 면에서 매우 다양하다. 이러한 외부은하들이 모여 우주를 이루고 있다.

1936년 허블(Hubble)이 은하를 그 형태로 분류한 이후 은하의 형태학적인 분류에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그 이후에 드보쿨레르(de Vaucouleurs)나, 샌디지(Sandage, Kormendy & Bender, 1996) 등이 그의 형태학적인 분류에 수정을 가하면서 세 가지로 분류되었다. Hubble tuning-fork diagram이라고도 불리는 그의 분류법에서는 은하를 타원은하(E), 정상나선은하(S), 막대나선은하(SB)의 세 가지로 분류했다.

새플리 이후 태양계가 속한 우리 은하계는 정상나선은하인 것으로 오랫동안 알아왔으나 스피처 우주 망원경(Spitzer Space Telescope: SST)의 관측 결과 우리 은하가 사실 막대나선은하라는 사실이 밝혀졌다. 이전에도 우리 은하가 막대나선은하일 것이라는 연구 결과들이 있었지만 지상 망원경으로는 두터운 먼지층을 뚫고 보기 어려웠기 때문에 확신할 수가 없었다. 파장이 긴 적외선은 우주의 먼지를 뚫고 볼 수 있기 때문에 우리는 적외선 망원경인 스피처 우주 망원경을 통하여 우리 은하의 막대나선 구조를 밝혀 낸 것이다.

우리 은하 주변에는 안드로메다 은하와



〈그림 V-33〉 스피처 우주 망원경의 관측결과를 바탕으로 구성한 막대 구조의 우리 은하 상상도

같이 매우 큰 은하와 마젤란 은하와 같은 작은 은하들이 여러 개 존재한다. 이렇게 우리 은하 부근에 수십 개의 은하가 집단으로 존재하는 것을 국부 은하군이라 부른다. 우리 은하와 안드로메다 은하는 국부 은하군에서 가장 큰 은하들로서 대부분의 질량을 차지하고 있다. 일반적으로 수십 개 내외의 은하로 구성된 집단을 은하군이라 부른다. 국부 은하군의 지름은 1 Mpc 정도이다.

수백 개에서 수만 개의 은하로 이루어진 집단을 은하단이라 부른다. 특히 구성하고 있는 은하의 숫자가 많은 것을 부자 은하단이라 한다. 우리 은하로부터 가까운 은하단으로는 약 178 Mpc 정도 떨어진 처녀자리 은하단이 있다. 또 약 90 Mpc 떨어진 곳에는 머리털자리 은하단이 위치하며 이 은하단을 구성하는 은하는 수만 개가 넘는 것으로 추정된다. 은하단의 지름은 수 Mpc 내외이다. 은하단들은 유기적으로 연관되어 있어 훨씬 큰 구조인 초은하단을 이룬다. 초은하단의 길이는 관측 가능한 우주 크기의 약 10% 정도를 차지하고 있다. 대부분의 부자 은하단의 중심 부분에는 질량이 매우 큰 거대 타원은하가 자리 잡고 있다.

우주가 처음 만들어질 때에는 질량 분포가 매우 균질했었지만 아주 작은 정도의 밀도 요동을 가지고 있었다. 시간이 지나면서 작은 밀도 요동은 중력을 바탕으로 성장하여 밀도가 높은 지역은 수축해 최초의 별과 은하나 은하단을 만들고 낮은 지역은 빈터가 된 것으로 보인다. 많은 양의 암흑 물질이 모인 곳에서 보통의 물질들이 중력적으로 끌려 떨어지게 되어 은하들이 형성되었다.

현대 우주론에서는 암흑물질의 특성이 차가운 것으로 인정하고 있고 이는 우주거대 구조의 적색편이 관측 결과가 증거가 되고 있다. 뜨거운 암흑물질이라면 지금 관측되는 우주의 구조는 시간이 지남에 따라 열적인 반발력에 의해 더욱 작은 구조로의 성장을 야기하게 된다. 그러나 현재 관측의 결과에서 보면 먼 과거에서 현재로 올수록(적색편이가 작아질수록) 우주의 구조는 작은 구조가 중력적으로 끌려 더 큰 규모의 은하들로 구성된 필라멘트나 빈터로 번역되는 Void가 형성되어 온 것이 확인 된다. 그리고 은하의 형태는 모여진 보통 물질들이 갖는 각 운동량의 세기와 축대칭의 양상이 결정을 하게 된다.

2. 은하의 측광 특성

1) 은하의 크기와 밝기

은하의 등급은 은하 표면 전역의 밝기의 적분치로서 주어진다. 그리고 실직경이나 실제 밝기를 알기 위해서는 은하의 거리를 알아야만 한다. 실제 밝기가 가장 밝은 은하는 거대 타원은하의 무리로 절대 등급 -23등급을 넘는다. 가장 어두운 쪽은 왜소은하이며 -8등급의 것까지 파악되고 있다. 실직경은 가장 큰 것이 50 kpc 이상, 가장 작은 것이 수 100 pc로 어렵고 있다.

2) 은하의 색

UBV의 삼색측광의 결과, 색지수 U-B나 B-V를 구하여, 은하가 파란색인지 붉은색인지 정량적으로 나타낼 수 있다. 은하의 형과 색지수 사이에는 좋은 상관관계가 있다. 즉 허블의 형태계열에서 왼쪽에 있는 조기형 은하일수록 붉고, 오른쪽에 있는 만기형 은하일수록 파랗다. 조기형인 타원은하가 붉은 색을 띠는 이유는 은하 내에 성간 가스의 함량이 적어 별의 탄생률이 낮아 나이가 많은 작은 질량의 별들이 대부분의 빛을 차지하기 때문이다. 만기형인 나선은하는 나선팔에 성간 물질이 많이 분포하여 분포하고 있는 별이 최후를 맞이한 후 다시 새로운 별의 집단으로 탄생하는 순환이 원활하여 비록 개수는 적지만 밝고 푸른 질량이 큰 젊은 별에 의해 푸른색을 띠게 된다. 여기서 주의할 것은 만기형, 조기형이라는 용어는 은하의 진화 수순과 무관하다.

3. 은하 분류 기준

1) 타원은하

허블에 의해 가장 조기형으로 분류된 은하로 단순히 타원율에 의해서만 구분되는 것이 아니라 많은 종류로 나누어지고 있다. 현재 일반적으로 분류되고 있는 타원은하의 종류에는 초거대 타원은하, 일반 타원은하, 왜소 타원은하, 왜소 구형은하, 그리고 청색 왜소은하가 있다. 타원은하의 중심부에 대한 관측은 시상 효과의 영향을 받는다. 시상에 의한 표면 밝기 분포의 변화를 측정해 보면 중심핵이 없는 타원은하의 경우에도 중심부의 밝기를 어둡게 보이게 하고 또 퍼지게 하여, 중심핵이 있는 은하의 표면 밝기 윤곽과 비슷하게 보이게 된다. 타원은하의 실제 모습은 3차원 모양이지만, 우리에게 관측이 될 때에는 하늘 평면에 투영된 2차원의 모습으로 보인다. 장반경을 a , 단반경을 b 라고 할 때 타원율은 다음과 같다.

$$\varepsilon = 1 - \frac{b}{a} \rightarrow n = 10 \times (1 - \frac{b}{a}) = 10 \times \varepsilon$$

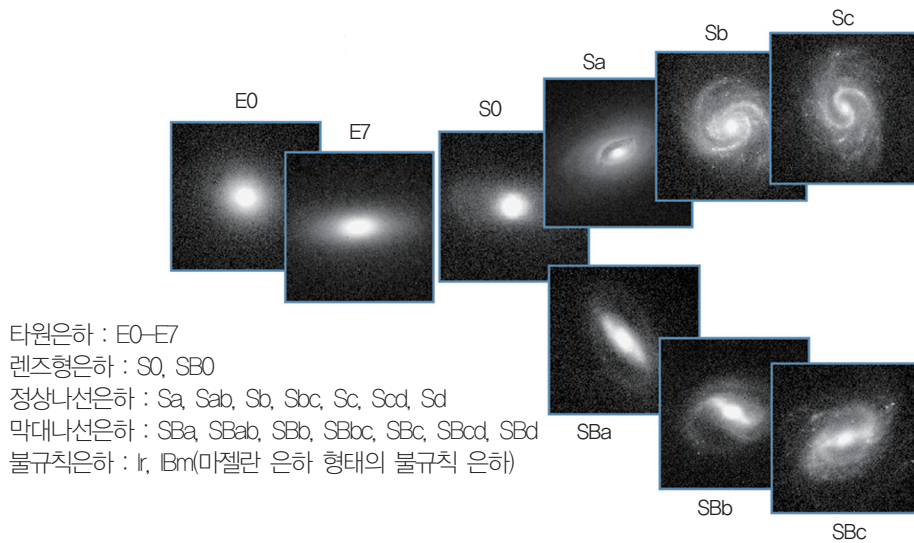
2) 나선은하

나선은하의 구조는 타원은하의 경우와 달리 매우 복잡한 양상을 띤다. 즉, 나선팔의 구조를 포함하는 원반부, 타원체의 형태를 보이는 중앙팽대부, 그리고 막대나선은하 중심부의 막대 등이 복합적으로 어우러져 있는 구조를 보인다.

일반적으로 나선은하의 중앙팽대부는 드보쿨레르(de Vaucouleurs)의 $r^{4/1}$ 법칙을 따르지만 원반부는 아래의 지수함수 법칙을 따른다.

$$I(r) = I_0 \exp\left(-\frac{r}{r_s}\right)$$

여기서 r_s 는 길이 척도이며, 은하 중심으로부터의 광도가 지수 배 만큼 감소되는 거리를 나타낸다.



〈그림 V-34〉 은하의 분류

탐 구 활 동 (1)

은하 분류 활동

허블은 사진 건판의 은하들의 모습을 보고 타원은하, 나선은하, 불규칙 은하의 3가지 유형으로 분류하였다. 나선은하는 다시 정상 나선은하와 막대나선은하로 나누어진다. 허블의 분류 체계에서 왼쪽으로 갈수록 초기형, 오른쪽으로 갈수록 만기형이라 하여 은하 진화의 측면에서 설명하고자 하였는데, 오늘날 은하 연구에 의하면 허블의 은하 분류 체계는 은하의 진화와는 무관하다.

- 1) 다음 메시에 목록의 은하들은 우리 은하에 비교적 가까이 있어 크고 밝은 외부은하들이다. 이들 은하들의 사진을 인터넷에서 검색하여 허블의 분류를 따라 분류해 보자.

〈표 1〉 메시에 목록

No.	Messier	Dreyer	No.	Messier	Dreyer
1	M31	NGC 0224	21	M86	NGC 4406
2	M32	NGC 0221	22	M87	NGC 4486
3	M33	NGC 0598	23	M88	NGC 4501
4	M49	NGC 4472	24	M89	NGC 4552
5	M51	NGC 5194/5	25	M90	NGC 4569
6	M58	NGC 4579	26	M91	NGC 4548
7	M59	NGC 4621	27	M94	NGC 4736
8	M60	NGC 4649	28	M95	NGC 3351
9	M61	NGC 4303	29	M96	NGC 3368
10	M63	NGC 5055	30	M98	NGC 4192
11	M64	NGC 4826	31	M99	NGC 4254
12	M65	NGC 3623	32	M100	NGC 4321
13	M66	NGC 3627	33	M101	NGC 5457
14	M74	NGC 0628	34	M104	NGC 4594
15	M77	NGC 1068	35	M105	NGC 3379
16	M81	NGC 3031	36	M106	NGC 4258
17	M82	NGC 3034	37	M108	NGC 3556
18	M83	NGC 5236	38	M109	NGC 3992
19	M84	NGC 4374	39	M110	NGC 0205
20	M85	NGC 4382			

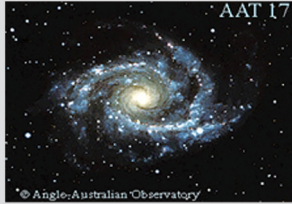
2) 우리 은하의 규모와 형태에 대해 알아보고, 허블 분류의 어느 형에 속하는지 알아보자. 메시에 목록 상의 은하 중에서 우리 은하와 가장 유사한 은하는 어떤 것이 있나?

3) 우리 은하가 속해 있는 국부 은하군에 속하는 은하에 어떤 것들이 있는가 말해 보자.

탐 구 활 동 (2)

은하의 색 관찰

다음은 여러 은하들의 색이 나타나 있는 사진들이다.



NGC2997



M101



NGC1313



M82



M87



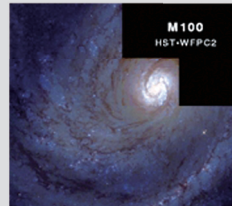
NGC22



NGC55



NGC4881



M100

- 1) 개별 은하들의 은하 중심부와 나선팔 등 부분의 색을 관찰하고 나타내보자.
- 2) 관찰된 은하의 색은 그들의 모양과 관계가 있는가? 관계가 있다고 생각한다면 그 이유를 설명해 보자.
- 3) 나선은하, 타원은하 및 불규칙 은하의 색깔을 비교해 보자. 특히 은하 유형에 따른 성간 물질의 분포를 비교하고 이를 별의 종족과 연관 지어 설명해 보자.

	타원은하	나선은하	불규칙 은하
중심부 색깔			
나선팔 색깔			
별의 종족			
성간물질의 존재			

16

허블의 법칙과 우주의 팽창

에드윈 허블(Hubble, Edwin Powell, 1889~1953)은 1919년 윌슨 천문대에서 구경 2.5m 망원경으로 성운을 관찰하는 일에 매달렸고, 20년대 초에 소용돌이성운(나선은하) 속에서 세페이드 변광성을 발견하고, 주기광도 관계를 기초로하여 그 거리를 측정하였다. 그 결과 당시 소용돌이 성운으로 알려진 많은 천체들이 모두 우리 은하계 밖에 있는 것임을 확인하고, 이들이 외부은하임을 증명하였다. 그는 1925년 은하계 밖의 은하에 대한 총괄적인 연구를 시작하여 모양에 따른 분류를 시도하였으며, 1929년 은하들의 스펙트럼선에 나타나는 적색이동의 원인이 시선속도(후퇴속도)라고 발표하고, 후퇴 속도가 은하의 거리에 비례한다는 ‘허블의 법칙’을 발견하여 우주팽창설에 대한 기초를 세웠다. 즉, 외부은하의 스펙트럼 사진에서 선스펙트럼의 파장 변이량($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$)을 측정하여 거리와의 관계를 조사해 본 결과 외부은하의 후퇴 속도는 그 은하까지의 거리에 비례하여 증가한다는 사실을 발견하였다. 도플러효과에 의하면 적색이동은 광원이 관측자로부터 멀어질 때 생기며, 그 이동의 크기는 후퇴 속도에 비례한다. 그러므로 허블의 발견은 외부은하의 후퇴 속도가 그것들까지의 거리에 비례함을 보여준다.

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \propto r$$

$v = H \cdot r$ (이것을 허블의 법칙이라고 한다.)

이것은 은하들이 속한 우주가 팽창하고 있기 때문이라고 생각되어, 당시 제창된 상대론적 팽창우주론의 관측적 근거가 되었다.

허블의 법칙은 외부은하의 거리를 결정하는데 사용될 뿐만 아니라 허블상수를 알면 팽창하는 우주의 나이, 우주의 크기 등을 구할 수 있다. 우주가 태초부터 일정한 속도로 팽창하였다면, 우주의 나이는 단순히 허블상수(H)의 역수로 나타낼 수 있다. 이 실험을 통해 허블상수를 구하면 우주의 나이를 구할 수 있을 것이다. 하지만, 우주에는 물질로 가득차 있어서 이들의 상호 인력(중력)에 의한 감속이 존재한다. 이러한



〈그림 V-35〉 팔로마 천문대의 허블

중력에 의한 위치에너지와 팽장에 의한 운동에너지가 정확히 균형을 이루는 우주(일명 평탄 우주)에서는 우주의 나이가 $t = (2/3) \times (1/H_0)$ 가 된다(H_0 는 현재의 허블상수) 최근의 연구에 의하면, 우주에는 물질 외에 암흑에너지라 불리는, 그 원인을 알수 없는 에너지가 존재하며 이에 의한 우주의 가속이 진행되고 있다. 이러한 우리 우주의 현재 나이는 약 137억년으로 관측되었고, 이는 $1/H_0$ ($H_0=71\text{km/s/Mpc}$ 으로 관측됨)에 근접한 값이다. 이 우주 팽창 모델을 통해 우주의 나이는 $t=(2/3) \times (1/H_0)$ 혹은 예측된 최댓값의 2/3 정도일 것으로 예측되고 있다.

탐 구 활 동

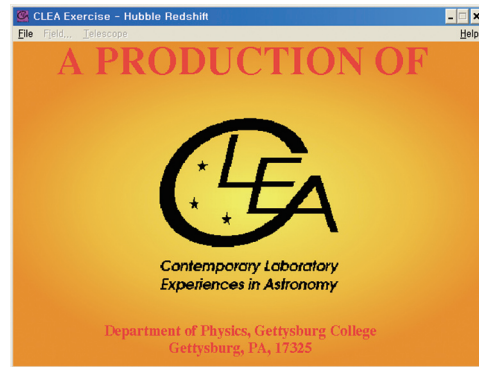
| 준비물 | 컴퓨터, 그래프 용지, CLEA(Hubble Redshift Distance Relation) 프로그램, 30 cm 자, 계산기

CLEA 시뮬레이션 프로그램을 통한 탐구

은하의 스펙트럼과 겉보기 등급을 가상의 분광기로 얻어 은하까지의 거리를 구하고, Ca II, H&K 흡수선의 도플러 효과를 통하여 은하의 속도를 구할 수 있다. 이상의 활동을 통하여 팽창하는 우주의 팽창률을 구하고, 우주의 크기와 나이를 구할 수 있다.

CLEA(Contemporary Laboratory Experience in Astronomy)프로그램 중 “Hubble Redshift Distance Relation”은 TV카메라와 분광기를 장착한 대형 광학 망원경을 여러분들이 직접 구동하여 외부은하들의 적색 편이를 측정할 수 있도록 만들어진 가상의 시뮬레이션 프로그램이다. 이 가상의 장치들을 직접 구동하여 우주에 분포하고 있는 은하단들을 선택하여 은하단 속의 여러 은하들의 거리와 속도를 구하고, 이 자료를 이용하여 은하의 거리-속도 곡선을 구해 허블상수를 결정할 것이다.

이 프로그램에는 큰곰자리 I, II 은하단과 머리털자리 은하단, 목동자리 은하단 및 북쪽왕관자리 은하단 등 5개 은하단의 관측 영역이 설정되어 있다.



- 1) 다음 페이지에 설명된 것을 참조하여 프로그램을 설치한 후 실행한다.

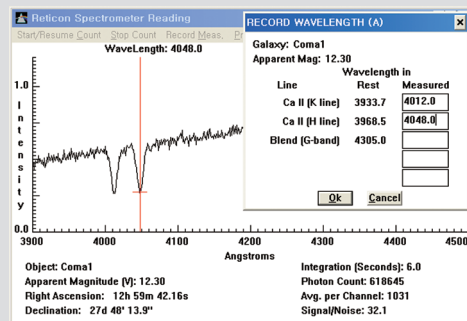
프로그램 다운로드 사이트: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>

- 2) 먼저 하나의 은하단 영역(Field)을 선택하여 파인더의 시야에 나타난 은하가 망원경 시야의 중앙에 오도록 망원경을 조작한 후 측정을 하고 다른 은하를 계속하여 측정한다.

- 3) 한 은하단 속의 은하를 모두 측정하였으면 다른 은하단 영역(field)을 선택하여 같은 측정 과정을 반복하도록 한다.

4) 이러한 실험 과정을 조원들이 각자 수행 한 후 측정 자료를 모아서 결과를 해석한다.

그 림	설 명
	① CLEA 프로그램 중 “Hubble Redshift Distance Relation”을 홈페이지에서 내려 받아 설치하여 실행한 후 “File”을 눌러 Log In 하면 왼쪽 화면이 나타난다. ② “File”의 RUN을 눌러 실행 명령을 내리면 키트피크 국립천문대의 구경 0.9m(36인치) 천체 망원경을 가상으로 구동할 수 있는 화면이 나타난다. 좀 더 넓은 시야를 원하면 구경이 작은 16인치 0.4m 망원경을 선택할 수 있다. 가상의 천문대의 돔을 열고 가상의 망원경을 직접 구동하여 밤하늘의 외부은하를 관측 해 보자.
	③ 망원경의 선택이 끝나면 Dome을 눌러 슬릿을 열면 파인더로 본 밤하늘의 모습이 나타나며, 시간이 지나갈수록 흘러가는 모습을 나타낸다. 망원경이 별을 계속 추적할 수 있도록 Tracking을 눌러 ON 상태로 전환시킨다. ④ “Field...”를 누르면 6개의 은하단이 주어지며, 이 중 하나를 선택할 수 있다. 머리털자리 (Coma Berenices) 은하단을 선택한 후 망원경 Slew 속도를 저속에서 고속(1~16)으로 바꿔가며 측정할 은하를 N, S, E, W키를 눌러 망원경 시야의 중앙에 넣는다.
	⑤ 대상 은하가 망원경 시야 중앙에 오면 Change View를 눌러 Finder 모드에 있는 망원경의 시야를 망원경에 부착되어 있는 분광기의 시야로 변경시키면 확대된 모습을 볼 수 있다. ⑥ Change View를 누르면 망원경의 시야 안에는 대상 은하 하나 또는 몇 개만이 들어온다. 대상 은하가 분광기 슬릿의 중앙에 오도록 이동속도(Slew Rate)를 낮춰 N, S, E, W 키를 눌러 망원경 시야 중앙에 넣는다. 3. Take Reading키를 눌러 자료를 측정하기 시작한다.



- ⑦ Take Reading키를 누르면 오른쪽 화면이 나타나는데, Start/Resume Count키를 누르면 분광기에 각 파장별로 광자가 누적되기 시작한다. S/N비가 20~30 이상이 되면 멈추고 Ca II K선과 H선의 파장을 읽는다.
- ⑧ 마우스의 커서를 올린 후 클릭하면 Ca II K선과 H선의 파장이 나타나며, Record Meas를 누르면 이 은하의 겉보기 등급과 측정된 값의 저장창이 나타나는데 측정값을 기록한 후 이를 저장한다.

탐 구 활 동

각 은하단 영역에서 개별 은하를 선택하여 분광기로 측정한 값과 기타 값들을 다음 표에 기록해 보자. 각 은하들의 측정 시 S/N비는 비슷하게 측정한다.

Field	No	적경	적위	시등급(m)	S/N비	광자수	측정 시간
큰곰1	1						
큰곰1	2						
큰곰1	3						

Field	No	K선 측정 파장(λ_K)	$\Delta\lambda_K$	H선 측정 파장(λ_H)	$\Delta\lambda_H$	G-밴드 측정 파장(λ_G)	$\Delta\lambda_G$	$\Delta K, H, G$ 평균값
큰곰1	1							
큰곰1	2							
큰곰1	3							

Field	No	적경	적위	시등급(m)	S/N비	광자수	측정 시간
큰곰2	1	10h59m44s	56d51m42s	16.87[V]	20.0	289326	482s
큰곰2	2						
큰곰2	3						

Field	No	K선 측정 파장(λ_K)	$\Delta\lambda_K$	H선 측정 파장(λ_H)	$\Delta\lambda_H$	G-밴드 측정 파장(λ_G)	$\Delta\lambda_G$	$\Delta K, H, G$ 평균값
큰곰2	1							
큰곰2	2							
큰곰2	3							

Field	No	적경	적위	시등급(m)	S/N비	광자수	측정 시간
머리털	1						
머리털	2						
머리털	3						

Field	No	K선 측정 파장(λ_K)	$\Delta\lambda_K$	H선 측정 파장(λ_H)	$\Delta\lambda_H$	G-밴드 측정 파장(λ_G)	$\Delta\lambda_G$	$\Delta K, H, G$ 평균값
머리털	1							
머리털	2							
머리털	3							

Field	No	적경	적위	시등급(m)	S/N비	광자수	측정 시간
목동	1						
목동	2						
목동	3						

Field	No	K선 측정 파장(λ_K)	$\Delta\lambda_K$	H선 측정 파장(λ_H)	$\Delta\lambda_H$	G-밴드 측정 파장(λ_G)	$\Delta\lambda_G$	$\Delta K, H, G$ 평균값
목동	1							
목동	2							
목동	3							

Field	No	적경	적위	시등급(m)	S/N비	광자수	측정 시간
왕관	1						
왕관	2						
왕관	3						

Field	No	K선 측정 파장(λ_K)	$\Delta\lambda_K$	H선 측정 파장(λ_H)	$\Delta\lambda_H$	G-밴드 측정 파장(λ_G)	$\Delta\lambda_G$	$\Delta K, H, G$ 평균값
왕관	1							
왕관	2							
왕관	3							

※ 외부은하의 평균 절대 등급은 모두 -22등급으로 하기로 한다.

※ *Ca II K*선의 파장 : $\lambda_K = 3933.7 \text{ \AA}$, *Ca II H*선의 파장 : $\lambda_H = 3968.5 \text{ \AA}$

혼합 G - 밴드의 파장 : $\lambda_G = 4305 \text{ \AA}$

※ 유용한 식과 물리량들

$$M = m + 5 - 5 \log D \quad u_K = c \times \frac{\Delta\lambda_H}{\lambda_H} \quad 1 \text{ 광년} = 0.306 pc$$

$$\log D = \frac{m - M + 5}{5} \quad \Delta\lambda_H = \lambda_{H\text{measured}} - \lambda_H \quad 1 \text{ MPC} = 1 \times 10^6 pc$$

$$v_H = c \times \frac{\Delta\lambda_H}{\lambda_H} \quad \Delta\lambda_K = \lambda_{K\text{measured}} - \lambda_K \quad 1 pc = 3.26 \text{ 광년}$$

$$v = H \cdot r \quad t \simeq \frac{1}{H} \quad R (\text{관측가능한 우주크기}) \simeq \frac{c}{H}$$

결과 및 토의

1) 측정 시간과 S/N비, 누적되는 광자의 수는 어떤 관계가 있을까?

S/N비가 너무 낮으면 은하의 측정값에 어떤 문제가 있을까?

2) 정지 상태 광원의 Ca II K선과 H선의 파장과 움직이고 있는 외부은하의 측정된 파장과의 차이

($\Delta\lambda_K$, $\Delta\lambda_H$) 및 혼합 G-밴드의 파장 차이($\Delta\lambda_G$)를 구하여 $\frac{\Delta\lambda_K}{\lambda_K}$, $\frac{\Delta\lambda_H}{\lambda_H}$ 및 $\frac{\Delta\lambda_G}{\lambda_G}$ 의 평균값을

구한 후 이를 이용하여 은하의 후퇴 속도를 구해 보자.

3) 측정된 각 은하의 겉보기 등급(m)을 이용하여 각 은하들까지의 거리를 구한다. 이때 모든 은하의 평균 절대 등급은 모두 -22등급으로 두고 계산해 보자.

4) 거리를 가로축, 후퇴 속도를 세로축으로 하여 위에서 구한 각 은하의 후퇴 속도와 거리와의 관계를 그래프로 그려서 허블상수를 구해보자. 허블상수가 가지는 의미를 설명해 보자.

5) 허블상수를 이용하여 팽창하는 우주에서 우주의 크기와 우주의 나이를 구해 보자.

부 록





1. 단위 변환
2. 주요 광물표
3. 일기도 기호 설명
4. 천문 상수
5. 태양계 물리량
6. 사진 출처
7. 참고 문헌
8. 찾아 보기

1 단위 변환

물리량	SI와 cgs 단위 변환		변환 인자
	SI 단위	cgs 단위	
거리(Distance)	meter(m)	centimeter(cm)	10^{-2}
질량(Mass)	kilogram(kg)	gram(g)	10^{-3}
시간(Time)	second(s)	second(s)	1
전류(Current)	ampere(A)	esu s ⁻¹	$3.335640952 \times 10^{-10}$
전하(Charge)	coulomb(C; A s)	esu	$3.335640952 \times 10^{-10}$
속도(Velocity)	ms ⁻¹	cms ⁻¹	10^{-2}
가속도(Acceleration)	ms ⁻²	cms ⁻²	10^{-2}
선운동량(Linear momentum)	kgms ⁻¹	gcms ⁻¹	10^{-5}
각운동량(Angular momentum)	kgm ² s ⁻¹	gcm ² s ⁻¹	10^{-7}
힘(Force)	newton(N; kgms ⁻²)	dyne(gcms ⁻²)	10^{-5}
에너지(일)(Energy(work))	joule(J; Nm)	erg(dyne·cm)	10^{-7}
일률(광도)(Power(luminosity))	watt(W; Js ⁻¹)	ergs ⁻¹	10^{-7}
압력(Pressure)	pascal(Pa; Nm ⁻²)	dyne·cm ⁻²	10^{-1}
밀도(Mass density)	kgm ⁻³	gcm ⁻³	10^3
전하밀도(Charge density)	Cm ⁻³	esucm ⁻³	$3.335640952 \times 10^{-10}$
전류밀도(Current density)	Am ⁻²	esus ⁻¹ cm ⁻²	$3.335640952 \times 10^{-10}$
전위(Electric potential)	volt(V; JC ⁻¹)	statvolt(ergesu ⁻¹)	2.997924580×10^2
전기장(Electric field)	Vm ⁻¹	statvoltcm ⁻¹	2.997924580×10^4
자기장(Magnetic field)	tesla(T; NA ⁻¹ m ⁻¹)	gauss(G; dyneesu ⁻¹)	10^{-4}
자속(Magnetic flux)	weber(Wb; Tm ²)	Gcm ²	10^{-8}

출처: An introduction to Modern Astrophysics (Bradly W. Carroll, Dale A. Ostlie 공저)

2

주요 광물표

광물명	주요 금속 성분	색	조흔색	굳기	조개짐
금강석	(탄소)	무	백	10	완전
자연금	금	황금	황금	2.3~3	—
황	(황)	황	황	1.5~2.5	—
황철석	철	황동	회흑	6~6.5	불완전
황동석	구리, 철	황동	녹흑	3.5~4	조금 완전
방연석	납	납회	납회	2.5~3	완전
암 염	나트륨, (염소)	무	백	2.5	완전
형 석	칼슘, (플로오르)	무	백	4	완전
석 영	(규소)	무	백	7	—
단백석	(규소)	백	백	5.5~6.5	—
강 옥	알루미늄	청, 회	백	9	조금 완전
적철석	철	철흑	적갈	5.5~6.5	완전
자철석	철	철흑	흑	5.5~6.5	불완전
방해석	칼슘	무, 백	백	3	완전
능철석	철	황갈	백	3.5~4	완전
정장석	칼륨, 알루미늄	백	백	6	완전
사장석	나트륨, 알루미늄	백	백	6~6.5	완전
운 모	칼륨, 알루미늄, 철	무, 갈	백	2.5~3	완전
각섬석	칼슘, 마그네슘, 철	흑, 녹	백	5.5	완전
휘 석	칼슘, 마그네슘, 철	암녹	백	5~6	완전
감람석	마그네슘, 철	담녹	담갈	6.5~7	완전
황 옥	알루미늄, (플루오르)	무	백	8~9	완전
홍주석	알루미늄	회, 적	백	7.5	완전
활 석	마그네슘	담녹	백	1~1.5	완전
지르콘	지르코늄	무	백	7.5	불완전
석 고	칼슘	무	백	1.5~2	완전
회중석	칼슘, 텅스텐	무	백	4.5~5	완전

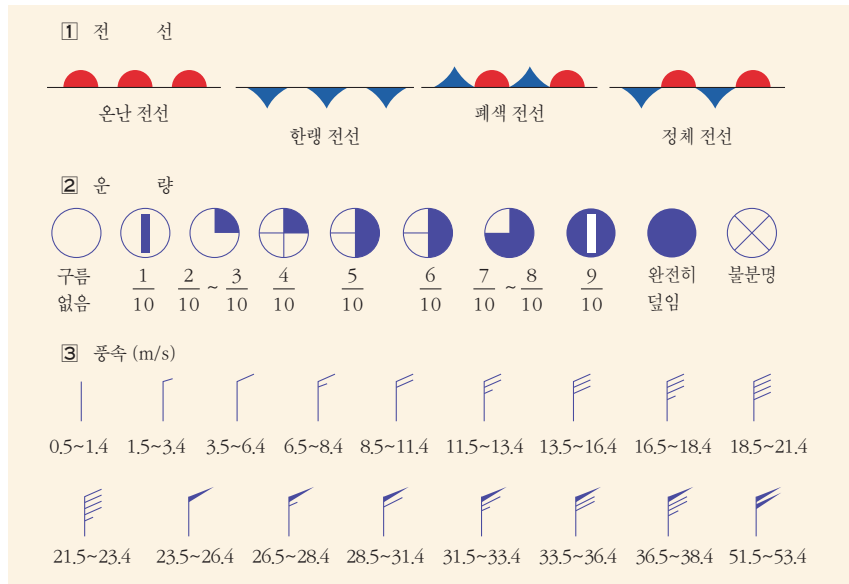
• () 안의 물질은 비금속이다.

출처: 고급 지구과학(서울특별시교육청)

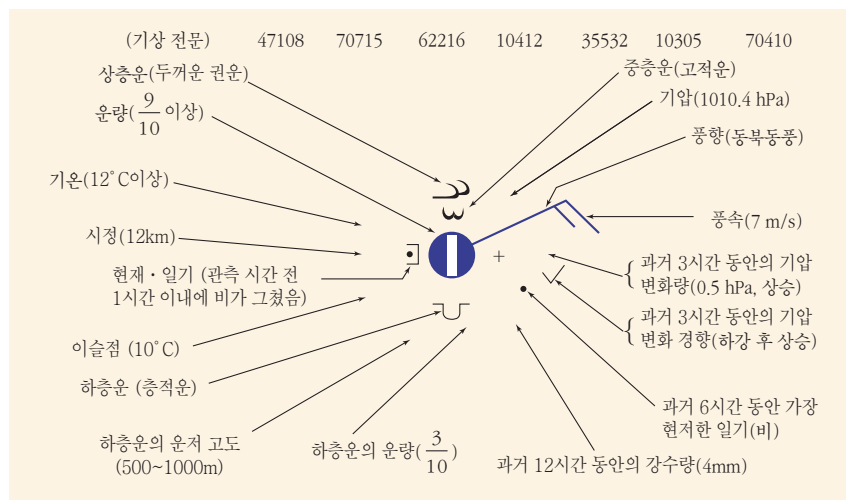
3

일기도 기호 설명

(1) 일기 기호



(2) 일기도의 관측 지점에 기입하는 형식의 예



출처: 고등학교 지구과학 실험(서울특별시교육청)

4

천문 상수

태양 질량	$1M_{\odot}$	=	$1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$
태양 복사	S	=	$1.365(2) \times 10^3 \text{ Wm}^{-2}$
태양 광도	$1L_{\odot}$	=	$3.839(5) \times 10^{26} \text{ W}$
태양 반지름	$R_{\odot}$	=	$6.95508(26) \times 10^8 \text{ m}$
태양 유효 온도	$T_{\odot}$	=	$L_{\odot} / (4\pi\sigma R_{\odot}^2)^{1/4}$
		=	$5777(2) \text{ K}$
태양 절대 복사 등급	M_{bol}	=	4.74
태양 겉보기 복사 등급	m_{bol}	=	-26.83
태양 겉보기 자외선 등급	U	=	-25.91
태양 겉보기 청색 등급	B	=	-26.10
태양 겉보기 등급	V	=	-26.75
태양색지수	BC	=	-0.08
지구 질량	$1M_{\oplus}$	=	$5.9736 \times 10^{24} \text{ kg}$
지구 반경(적도)	$1R_{\oplus}$	=	$6.378136 \times 10^6 \text{ m}$
천문 단위	1AU	=	$1.4959787066 \times 10^{11} \text{ m}$
광년	1ly	=	$9.460730472 \times 10^{15} \text{ m}$
파섹	1pc	=	206264.806 AU
		=	$3.0856776 \times 10^{16} \text{ m}$
		=	3.2615638 ly
항성일		=	$23^{\text{h}}56^{\text{m}}04.0905309^{\text{s}}$
태양일		=	86400s
항성년		=	$3.15581450 \times 10^7 \text{ s}$
		=	365.256308d
회귀년		=	$3.155692519 \times 10^7 \text{ s}$
		=	365.2421897d
율리우스 역년		=	$3.1557600 \times 10^7 \text{ s}$
		=	365.25d
그레고리 역년		=	$3.1556952 \times 10^7 \text{ s}$
		=	365.2425d

출처 : An introduction to Modern Astrophysics Second Edition (Bradly W. Carroll, Dale A. Ostlie 공저, 2007, PEARSON Addition_Wesley)

행성의 물리 자료

행성	질량* (지구=1)	직경** (지구=1)	평균 밀도 (kg/m ³)	항성 자전주기 (일)	편평도	본드 반사율
수성	0.05528	0.3825	5427	58,6462	0.0000	0.119
금성	0.81500	0.9488	5243	243,018	0.0000	0.750
지구	1.00000	1.0000	5515	0.997271	0.0033396	0.306
화성	0.10745	0.5326	3933	1,02596	0.006476	0.250
목성	317.83	11,209	1326	0.4135	0.064874	0.343
토성	95.159	9,4492	687	0.4438	0.097962	0.342
천왕성	14.536	4.0073	1270	0.7183	0.022927	0.300
해왕성	17.147	3.8826	1638	0.6713	0.017081	0.290
명왕성	0.0021	0.178	2110	6,3872	0.0000	0.4-0.6
2003 UB313	0.002?	0.188	2100?			0.6?

행성의 궤도 및 위성 자료

행성	장반경 (AU)	궤도 이심률	항성 궤도 주 기(년)	황도에 대한 궤 도 경사각(°)	궤도에 대한 적도 경사각(°)	위성수
수성	0.3871	0.2056	0.2408	7.00	0.01	0
금성	0.7233	0.0067	0.6152	3.39	177.36	0
지구	1.0000	0.0167	1.0000	0.000	23.45	1
화성	1.5236	0.0935	1.8808	1.850	25.19	2
목성	5.2044	0.0489	11.8618	1.304	3.13	63
토성	9.5826	0.0565	29.4567	2.485	26.73	47
천왕성	19.2012	0.0457	84.0107	0.772	97.77	27
해왕성	30.0476	0.0113	164.79	1.769	28.32	13
명왕성	39.4817	0.2488	247.68	17.16	122.53	3
2003 UB313	67.89	0.4378	559	43.99		1

* 지구의 질량($M_{\oplus}$) = 5.9736×10^{24} kg

** 지구의 적도 반지름($R_{\oplus}$) = $6,378136 \times 10^6$ m

출처 : An introduction to Modern Astrophysics Second Edition (Bradly W. Carroll, Dale A. Ostlie 공저, 2007, PEARSON Addition_Wesley)

I. 살아있는 지구

- p.12 단원 I -1 탐구활동 : <http://earth.google.com>, <http://solarviews.com> 자료 활용.
- p.15 부우게 보정 : 지구시스템의 이해(2009) 사진자료 활용.
- p.16 부우게 보정 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스 자료.
- p.17 단원 I -2 탐구활동 : 한국지구과학회(1998), 지구과학실험서 자료 활용.
- p.20 단원 I -3 탐구활동 : 이효녕, 김승환(2009), 최신 지구과학 실험서, 경북대학교출판부, 한국지구과학회(1998); 지구과학실험서, 교학연구사.
- p.22 대륙이동의 증거 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스 자료.
- p.24 단원 I -4 탐구활동 : <http://earth.google.com>, 이효녕, 김승환(2009), 최신 지구과학 실험서, 경북대학교출판부.
- p.28 잔류자기 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스 자료.
- p.29 해저확장과 자기 이상 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스 자료.
- p.29 지자기 줄무늬 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스 자료.
- p.30 단원 I -5 탐구활동 : 기상청 지진자료 활용; 이효녕, 김승환(2009), 최신 지구과학 실험서, 경북대학교출판부.
- p.33 발산형 경계 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스.
- p.34 단원 I -6 탐구활동 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학. 시그마프레스 자료 활용.
- p.38 진앙 위치와 진원 깊이를 알아내는 방법 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학. 시그마프레스 자료 활용.
- p.38 단원 I -7 탐구활동 : 한국지구과학회(1998), 지구과학실험서, 교학연구사; 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스.
- p.40 지진파 모드 변환 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학. 시그마프레스 자료 활용.
- p.41 지구 내부를 전파한 실체파의 위상 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스.
- p.41 P파와 S파의 암영대 : 김동희, 김영화(2003), 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스.
- p.42 단원 I -8 탐구활동 : 김성균(1996), 고체지구물리학, 교학연구사.
- p.46 단원 I -9 탐구활동 : <http://earth.google.com>
- p.50 단원 I -10 탐구활동 : 이효녕, 김승환(2009), 최신 지구과학 실험서, 경북대학교출판부

자료 활용; 정진우, 경재복, 박홍서, 우종옥, 위수민, 김현수(2002), 지구과학실험, 한국교원대학교 과학교육연구소.

- p.60 단원 I -12 탐구활동 : 이효녕, 김승환(2009), 최신 지구과학 실험서, 경북대학교출판부
자료 활용; 정진우, 경재복, 박홍서, 우종옥, 위수민, 김현수(2002), 지구과학실험, 한국교원대학교 과학교육연구소.

II. 지구의 물질과 변화

- p.69 장식 결정에서 관찰한 쌍정의 모습 : <http://classroom.re>
- p.73 단원 II -1 창의 탐구 : 김정률 외(2000), 편광현미경으로 본 암석의 세계, 한국지구과학회 시리즈 8, 교육과학사.
- p.75 단원 II -2 해보기 : <http://earth.kongju.ac.kr>
- p.76 조흔색 : <http://classroom.re.kr/view.jsp?mcode=151416>
- p.76 금속 광택과 비금속 광택 : <http://classroom.re.kr/view.jsp?mcode=151416>
- p.87 화산 분출 모습 : <http://www.google.co.kr>
- p.94 화성암 분류단계 : Richard M. Busch, LABORATORY MANUAL IN PHYSICAL GEOLOGY.
- p.120 단원 II -8 탐구활동 : Richard M. Busch, LABORATORY MANUAL IN PHYSICAL GEOLOGY.
- p.122 역암의 역학적 변형 : Claudia Owen; Diane Pirie; Grenville Draper; EARTH LAB, Exploring the Earth Science, Second Edition, 2006.
- p.123 광역 변성암에서 나타나는 광물 입자의 방향성 : Claudia Owen; Diane Pirie; Grenville Draper; EARTH LAB, Exploring the Earth Science, Second Edition, 2006.
- p.133 단원 II -10 창의 탐구 : 2009, 경기지역 지질탐구학습백과, 경기도교육청.
- p.134 고 기후의 지시자 고사리 화석 : http://www.emuseum.go.kr/relic.do?action=view_d&mcwebmno=40623
- p.134 벌집 판 모양의 산호화석 : <http://www.jeufossil.co.kr/>
- p.138 단원 II -11 창의탐구 : <http://www.google.co.kr>
- p.139 스트로마 톨라이트와 철광층 : <http://www.google.co.kr>
- p.140 고생대의 표준화석 : <http://www.google.co.kr>
- p.141 중생대의 척추동물 화석 : <http://www.google.co.kr>
- p.142 신생대의 포유류 : <http://www.google.co.kr>

- p.142 단원 II-12 탐구활동 : 2008, 고급지구과학, 교육인적자원부.

Ⅲ. 대기와 해양

- p.148 페이지의 성장률 곡선 : <http://blog.naver.com/daeboo108?Redirect=Log&logNo=70082060186>

Ⅳ. 지구의 환경

- p.215 북극 방향에서 바라본 오로라의 모습 : <http://blog.naver.com/daeboo108?Redirect=Log&logNo=70082060186>
- p.215 태양풍 효과의 시간 척도 : 안병호, 태양-지구계우주환경, 시그마프레스
- p.231 단원 IV-4 창의탐구 : http://outreach.eos.nasa.gov/EOSDIS_CD-03/docs/data_elnino.htm
- p.233 원격탐사 : 위성해양정보시스템(<http://portal.nfrdi.re.kr/sois/index.jsp>)
- p. 236 침수되고있는 투발루 : <http://greenmom.egloos.com/4908284>

Ⅴ. 우주 속의 지구

- p. 244~245 푸코진자 : 이시우, 안병호, 태양계천문학, 서울대학교 출판부
- p. 250 양부일구 : <http://100.nate.com/dicsearch/pentry.html?s=B&i=167352&v=44>
- p.285 천체관측의 도구 (가) : <http://www.panoramio.com/photo/8753016>
- p.285 천체관측의 도구 (나) : <http://www.utaustin.co.kr/utmng/ZWork.asp?chkType=S001PDS02C&NO=41&selSearch=V&page=1&selText=&STITLE=0&SID=0&SCONT=0&chkTypeStep=D>
- p.285 천체관측의 도구 (다) : <http://exmars.egloos.com/m/2432462>
- p.286 Maxim/DL과 The Sky6 : <http://www.sbig.com>
- p.325 스피처 우주 망원경의 관측결과를 바탕으로 구성된 막대구조와 우리은하 상상도 : <http://abyss.uoregon.edu/~js/ast122/lectures/lec25.html>
- p.328 은하의 분류 : <http://photos.aip.org/quickSearch.jsp?qsearch=segre&group=1630>
- p.328 은하의 분류 : http://www.eso.org/public/outreach/eduoff/cas/cas2002/cas-projects/denmark_m31_1

7 참고 문헌

I. 살아있는 지구

- 김성균, 고체지구물리학, 교학연구사, 1996.
- 김동희, 김영화, 알기쉬운 지구물리학, 시그마프레스, 2003.
- 김경렬, 김동희, 박창범, 전종갑, 조문섭, 지구시스템의 이해, 박학사, 2009.
- 이효녕, 김승환, 최신 지구과학 실험서, 경북대학교출판부, 2009.
- 정진우, 경재복, 박홍서, 우종옥, 위수민, 김현수, 지구과학실험, 한국교원대학교 과학교육연구소, 2002.
- 정창희, 지질학 개론, 박영사, 1992.
- 한국지구과학회, 지구과학개론, 교학연구사, 2004.
- 한국지구과학회, 지구과학실험서, 교학연구사, 1998.
- <http://solarviews.com>
- <http://earth.google.com>

II. 지구의 물질과 변화

- 김정률 외, 편광현미경으로 본 암석의 세계, 「한국 지구과학회 시리즈8」, 교육과학사, 2000.
- 정진우 외, 지구과학 실험, 교육과학기술부, 2009.
- 이효녕 외, 최신 지구과학 실험서, 경북대학교 출판부, 2010.
- 정철 외, 고급지구과학, 교육인적자원부, 2008.
- Loren A. Raymond 저, 정지곤 · 이종만 옮김, 화성암석학, 시그마프레스, 2000.
- Loren A. Raymond 저, 정공수 · 김정률 옮김, 퇴적암석학, 시그마프레스, 2000.
- Loren A. Raymond 저, 안건상 옮김, 변성암석학, 시그마프레스, 2000.
- Murck 외 저, 소칠섭 외 옮김, 푸른행성 : 지구환경과학 개론, 시그마프레스.
- 경재복 외, 지구과학 개론, 교학연구사, 2006.
- 한국지구과학회 저, 지구과학실험서, 교학연구사, 1998.
- 경기지역 지질탐구학습백과, 경기도교육청, 2009.
- 정은주, 제주도 동부 성산일출봉 일대 현무암의 암석학적 연구, 부산대학교 이학석사학위논문, 2002.

- Claudia Owen; Diane Pirie; Grenville Draper; EARTH LAB : Exploring the Earth Science, Second Edition, 2006.
- Richard M. Busch, LABORATORY MANUAL IN PHYSICAL GEOLOGY.
- <http://classroom.re.kr/>
- <http://earth.kongju.ac.kr>
- <http://www.jejufoossil.co.kr/>
- <http://www.google.co.kr>
- <http://www.kigam.re.kr/>
- <http://www.hwasuk.com/>
- <http://uhangridinopia.haenam.go.kr/>
- <http://ywmuseum.com/section/hs/html/main.jsp>

Ⅲ. 대기와 해양

- 박수인, 권석민, 김인수, 신홍렬, 안건상, 지구시스템과학, 교육과학사.
- 곽종흠, 소선섭, 일반기상학, 교문사, 1993.
- Wallace, Atmospheric science, Academic Press, 1977.
- Ahrens, Meteorology Today, Brooks/Cole, 1999.
- Holton, An introduction to dynamic meteorology, Academic Press, 1979.
- Greg Carbone, Exercises for Weather and Climate, Prentice Hall, 2001.
- 한국기상전문인협회, 과학교사기상분석과정, 기상과학아카데미, 2010.
- American Meteorological Society(2005), The Maury Project, American Meteorological Society, 2005.
- 안희수 외, 물리해양학, 시그마프레스, 1998.
- 박용안, 바다의 과학, 서울대학교출판부, 2005.
- 강효진 외, 해양학, 시그마프레스, 2002.
- 2001 전국 고등학생 수학과학 경시대회.
- 해양과학, 양성기외, 문운당.
- 지구과학실험, 한국교원대학교 과학교육연구소, 교육인적자원부.
- 물리해양학, 안희수외, 시그마프레스.

IV. 지구의 환경

- 안병호, 태양-지구계 우주환경, 시그마프레스.
- http://portal.cssdp.ca:8080/ssdp/app/static/related_projects/rt_oval.html
- <http://blog.naver.com/daeboo108?Redirect=Log&logNo=70082060186>
- <http://blog.naver.com/savethetable/20051255369>

V. 우주 속의 지구

- <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>
- <http://www.stellarium.org/>
- <http://bbs.knue.ac.kr/~tepisces/Stellarium-kr.exe>
- <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEplot/SEplot2001/SE2009Jul22T.GIF> : 2009년 개기일식.
- <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/OH/OHfigures/OH2010-Fig01.pdf> : 2010년 금환일식.
- <http://ap-i.net/avl/en/start>
- <http://astro.unl.edu/naap/hr/>
- <http://astro.unl.edu/naap/distance/animations/clusterFittingExplorer.html>
- 한국교원대학교 과학교육연구소, 고등학교 지구과학실험, 교육부, 2001.
- 한국교원대학교 과학교육연구소, 고등학교 지구과학실험, 교육과학기술부, 2009.
- 서울특별시교육청, 고등학교 지구과학실험, 열린애드, 2010.
- M. Zeilik et al., 천문학 및 천체물리학 제4판, 시그마프레스, 1998.
- H. Karttunen et al, 기본천문학, 시그마프레스, 2008.
- 김희수, 관측천문학실습, (주)북스힐, 2004.
- 김희수, 관측천문학, (주)북스힐, 2004.
- 김희수, 천체관측, 시그마프레스, 2009.
- 최승언, 천문학의 이해, 서울대학교 출판부, 2010.
- 김철희, 천문학실습, 시그마프레스, 2005.
- 이시우, 안병호, 태양계 천문학, 서울대학교 출판부, 1997.

1단원			
가우스(Gauss)	19	수렴형 경계	33
강성률	40	습곡 구조	48
건열	55	실체파	36
건층(key bed)	60	암권(lithosphere)	32
고도 보정	15	암설류	44
고지자기	23	암영대	41
관입	59	약권(asthenosphere)	32
구텐베르크 불연속면	42	엘스텟(oerst)	19
단층	49	연흔	55
돌리네	45	열곡	33
동일 과정의 법칙	58	엽리	48
러브파	36	와류설	11
레만 불연속면	42	우주진설	11
레이리파	36	우흔	55
마식작용	45	운석을 이용한 연대 측정	10
모호로비치치 불연속면	41	육교설	23
발산형 경계	33	이류	44
방사성 동위원소	59	자기이상	29
배사형	48	자기장 벡터의 강도	19
변환단층	34	자기장 벡터의 크기	18
보존형 경계	34	자력계	29
복각	18	잔류자기	28
부우게 보정	15	전단계수	40
부정합	59	절대 연령	59
사충리	54	절리	48
사태	44	점이충리	54
사행천	44	조우설	11
상대 연령	59	중력공식	15
생물군 천이의 법칙	58	중력이상	15
섭입대	33	지구 자기장	18
성운설	11	지층 누층의 법칙	58
		체적탄성계수	40
		충적 선상지	44

찾아보기

카르스트 지형	45	깨짐	77
켈빈(L. Kelvin)	10	네소(neso) 규산염	82
콘드라이트(condrite)	10	녹색편암	130
콘드룰(chondrule)	11	누대구조	69
큐리온도	28	누적빈도곡선	102
클리노미터	49	다색성	67
테슬라(Tesla)	19	다이어믹타이트(diamictite)	119
판게아(pangaea)	23	대리암	129
판구조론	32	대물 렌즈의 중심조정	70
편각	18	동력 변성 작용	124
포행(creep)	44	마그마 분화 작용	88
표면파	36	마그마	87
풍식작용	45	매물 변성 작용	123
피요르드	45	모드(mode) 분석	98
PS시	37	박편	66
해빈사	45	발색소	75
해안 대지	45	백립암	130
향사형	48	베케선(becke line)	67
		변성 작용	122
		변성상	125
		불연속 반응 계열	88
		사이클로(cyclo) 규산염	83
		산호	135
		색지수	93
		생흔화석	139
		성분 변화도(Harker diagram)	89
		소광 현상	68
		소로(soro) 규산염	83
		스토크스(stokes) 법칙	100
		스트로마톨라이트	138
		시상 화석	134
		쌍정(twin)	69
		IUGS 분류도	95

2단원

각섬암	125
간섬상	69
결정형	74
고사리	134
광물	66
광택	76
구형도	102
굳기	77
굴절률	67
규암	129
구조	135

알로캠	112		
암모나이트	141		
암석화 작용	110		
연속 반응 계열	88		
연안 퇴적 환경	118		
원마도	102		
유공충	135		
육성 퇴적 환경	117		
이노(ino) 규산염	83		
입도	100		
자색	75		
점판암	128		
접촉 변성 작용	124		
조산대 변성 작용	123		
조흔색	75		
쪼개짐	77		
천매암	128		
충격 변성 작용	124		
타색	75		
텍토(tecto) 규산염	83		
퇴적암	109		
파쇄 변성 작용	124		
편광판 진동 방향 조정	67		
편광 현미경	66		
편마암	129		
편암	129		
필로(phylo) 규산염	83		
해양 퇴적 환경	118		
해양저 변성 작용	124		
호상 첼광층	140		
화성암	89		
히스토그램	102		
		3단원	
		고립계	146
		곡률효과	166
		단한계	146
		대류응결고도(LCL)	171
		데이지 월드	147
		등압선	175
		무조점	200
		반일주조	199
		병합설	168
		복사평형 온도	149
		빈의 법칙	154
		빙정설	168
		사운드 빔	207
		상대습도	166
		상승응결고도(LCL)	171
		수괴	195
		수동적 대륙연변부	208
		슈테판-볼츠만 법칙	154
		양성 피드백	147
		열린계	146
		열염분 순환	195
		용질효과	167
		음성 피드백	147
		음향측심기	207
		일기도	175
		일주조	200
		SONAR	206
		잠재 불안정	172
		전향력	161
		절대 불안정	172

찾아보기

절대 안정	172
조건부 불안정	172
조석	199
중단속도	169
중립상태	172
지형류	191
천해파	199
키르호프 법칙	154
플랑크 법칙	154
T-S도	196
혼합비	170
혼합조	200
활동적인 대륙 연변부	208
흑체	154

4단원

계절수온약층	223
고기후	232
기후 요소	232
기후 인자	232
기후	232
남방진동	229
대기의 안정도	218
대체 에너지	236
라니냐	230
바이오 디젤	237
바이오매스	237
바이오 에너지	237
신에너지	236
엘니뇨	228
영구수온약층	223

오로라	215
위커 순환	228
원격탐사	222
자기권계면	214
재생 에너지	236
태양풍 플라즈마시트	214
혼합고	218

5단원

가이드 촬영	290
갈릴레이식 굴절 망원경	285
거성	304
경위의	263
고도	262
고정 촬영법	290
광전관측	284
구면삼각법	252
국부 은하군	326
균시차	252
나선은하	325
남중 고도	263
대통력	258
맥동 변광성	321
반사 망원경	285
방위각	262
방출 스펙트럼	296
백도	289
백색왜성	303
bias 잡음	286
부자 은하단	326
분광관측	284

삭망월	289	측광 관측	284
색지수	303	칭동	290
수평형 해시계	250	케플러 법칙	273
스테랄리움(Stellarium)	282	타원은하	325
스피처 우주 망원경	325	태양계	273
시대양시	252	팽이형 해시계	250
CLEA 프로젝트	279	평균 태양시	252
아포칼 촬영	290	표준시	253
암전류	286	표준자오선	254
연속 스펙트럼	296	피기백 촬영	290
월성식	258	항성월	289
은하군	326	허블의 법칙	331
은하단	326	호먼궤도	268
H-R도	303	확대 촬영	290
Maxim / DL	287	흡수 스펙트럼	296
NAAP 프로젝트	315		
S/N비	300		
자오의	263		
장축(major axis)	268		
적경	262		
적도 좌표계	262		
적위	262		
주계열 맞추기	310		
주계열성	303		
주기-광도 관계	304		
지평 좌표계	321		
직초점 촬영	290		
질량-광도 관계	305		
천정거리	263		
천체관측	285		
천체분광기	295		
초은하단	326		
축소 촬영	290		

■ 심화지구과학 교과서 오류 수정 · 보완 결과보고서

쪽	행	원본(수정이 필요한 부분)	수정 · 보완 결과(수정 후 내용)
23	마지막 행	고지자기 위도(λ)로 쓰고 있으나, 앞 바 로 단원에서는 사용하고 있었음.	ϕ 로 수정
23	하 4	24p 탐구활동 속에서 위도와 자기위도를 구분하지 못하고 있음.	자기위도와 고위도가 동일하다고 가정하는 내용을 넣어보완함. 삽입문장: 과거 지질시대의 지구자기장은 지구중심 자전축 상의 쌍극자에 의한 것임이 밝혀졌 다. 즉, 쌍극자가 자표를 끊는 점인 자극은 자전축과 일치한다는 것이다. 따라서 자기 위도는 당시의 고위도와 일치한다고 볼 수 있다.
24		고지자기와 대륙의 이동 의 탐구활동(1) 의 표 내용 중 고위도 표기가 나와 있는데 잘 못 되어 있음.	고지자기에서는 자극과 자전축이 일치하므 로 고지자기위도를 고위도로 표기해도 가 능함.
30		탐구활동 속 시간의 기준이 애매하여 생성 연대를 표기하기 불명.	탐구활동 보조눈금 삽입(2단위로)
30		탐구활동 속 그림에서 문제와 상관없는 5 번 지자기 번호 그림이 들어감.	삭제
39	그림	지진파 분석 의 탐구활동의 지진기록 자료 로는 정확한 결과값을 얻기가 어려움.	그림 속 춘천의 위치 3mm, 충주 1mm 각각 동쪽으로 이동함.
100	6	타원체	형태
100	6	따라서	자갈과 같이 큰
100	9	중축을	중축의 길이를

쪽	행	원본(수정이 필요한 부분)	수정 · 보완 결과(수정 후 내용)
100	9	단축을	단축의 크기를
100	11	자갈의 경우 직접 자나 캘리퍼스로 측정하는 것이 좋다.	삭제
100	14	추가	때로는 퇴적물과 같은 부피에 해당하는 구의 직경을 퇴적물의 직경으로 계산하기도 한다.
102	마지막 줄	표에 의거하여 나타내는	그림과 비교하여 편리하게 측정하는
111	흐름도	실투:1/265, 점토 1/265	256으로 수정
111-112	흐름도	생화학적,생화학적 암석성분 중 염산반응	염산반응 삭제
153		프로그램 코드가 틀림	수정(5p 첨부)
157		그림 III-8. 열수지 값 틀림	열수지 값에는 이상이 없음.(참고도서 ATMOSPHERE SCIENCE -Wallace저 294쪽 참고)
166		제목에 4가 빠짐	4 추가
208		그림 1. 틀림	그림 1과 그림 3(210쪽) 모두 수정 (6p 첨부)
224-225		탐구활동 정선자료 값이 없는 경우가 많음 2) 정선 관측 자료를 활용하여 2008년 12월 13일,.... 탐구활동 정선자료 값이 없는 경우 많음. 3) 동해안 정선(102-10)	2) 정선 관측 자료를 활용하여 2008년 12월..(동해과 서해의 정선 관측일이 일치하지 않아 월중으로 수정) 자료가 있는 것으로 수정 3) 동해안 정선 (102-06)
230	하단 그림	그림의 좌표값이 빠짐	그림의 좌표값을 넣었으며, 그림을 교체하였음 http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/ (7p 첨부)
243	11	망원경과_디지털 카메라와	망원경과_디지털 카메라와
244	20	그림과 같이	그림 V-2와 같이
245	13	$V_B =$	$V_P =$
245	14	$V_C =$	$V_B =$

쪽	행	원본(수정이 필요한 부분)	수정 · 보완 결과(수정 후 내용)
246	탐구활동(1), 6	위도 0°인 지방에 설치한다.	위도 0°인 위치에 붙인다.
246	탐구활동(1), 7	위도 0인 지방의 천정에	위도 0°인 위치의 천정에
246	탐구활동(1), 8	위도 0°인 지방에	위도 0°인 위치에
246	탐구활동(1), 8	화살표를 설치한다.	화살표를 붙인다.
246	탐구활동(1), 11	시선의 위치는 화살표를 설치하는	시선은 화살표를 붙이는
246	탐구활동(1), 12	지방의 천정에 위치해야 한다.	위치의 천정에 두어야 한다.
250	10	B.C._10~	B.C._10~
252	그림 V-8	가운데 ‘태양’	‘지구’
252	4	시_태양	시태양
254	1,2,3	_h _m 단위 앞 여백 다름	여백 통일
282	탐구활동(2), 6	스테랄리움(Stellarium)을 다음 사이트에서	스텔라리움(Stellarium)을 다음 사이트에서
282	탐구활동(2), 9	스테랄리움	스텔라리움
282	탐구활동(2), 10	스테랄리움	스텔라리움
283	탐구활동(3), 4	스테랄리움	스텔라리움
283	탐구활동(3), 15	스테랄리움	스텔라리움
283	탐구활동(3), 17	스테랄리움	스텔라리움
284	7~8	측광 은 다음 이유로 광전관측이라고도 불린다 : 광전증배관이나 CCD와 쓰기도 한다. 광전증배관이나	측광은 광전증배관이나 (중간 부분 삭제)
284	9	관측방법으로 검출기에	관측방법으로 광전관측이라고도 불린다. 검출기에
295	9~10	~ 옮겨갈 때 흡수되는 흡수 스펙트럼 ~	~ 옮겨갈 때 연속 스펙트럼 상에서 흡수되어 나타나는 흡수 스펙트럼 ~
296	11	가열된 나트륨 등의 불꽃에서	가열된 나트륨 등으로부터 스펙트럼의

쪽	행	원본(수정이 필요한 부분)	수정 · 보완 결과(수정 후 내용)
297	표 V-5, 5	O-형별들에서보다	O형별들에서보다
297	표 V-5, 10	A-형별보다는	A형별들보다는
297	표 V-5, 15	F형 별들보다는	F형별들보다는
303	4	온도로 결정되고	온도로 결정되고
304	12	이는 별의 특성 중	이것은 별의 특성 중
305	4	관측에 의한 선택효과를 고려하여	약한 밝기의 천체는 잘 관측하지 못하는 관측에 의한 선택효과를 고려하여
305	10	백색왜성에는	백색왜성의 경우에는
306	7~9	이들이 도입한 광도계급은	이들은 광도계급을
310	5	페르세우스자리 h와 x 의 이중성단	‘h’는 영어 알파벳==> 별 명칭은 그리스문자 ‘η’로
310	20	Km	km
316	3	미광 천체 연구에	약한 밝기의 천체 연구에
332	2, 5	H_0	H_0 (상수 이므로 이탤릭체로, 0은 아래첨자로 표시)

153	프로그램 코드가 틀림	수정(5p 첨부)
-----	-------------	-----------

```

#include <iostream>
#include <fstream>
#include <math.h>

using namespace std;

void main(){
    double Tp, S, sb=0.000000056696;
    double Au, Ab=0, Aw=0, albedo=0, ALu=0.5, ALb=0.25, ALw=0.75, F=20, dr=0.3;
    double GFb, GFw, Tb, Tw, dAb, dAw;
    double black[200], white[200], T[200];

    ofstream Tout("T.txt");
    ofstream blackout("blackout.txt");
    ofstream whiteout("whiteout.txt");

    for (int time=0; time < 200; time++){
        S=550+(5.5*time);
        Au=1-Ab-Aw;
        if (Ab<0.0001)           Ab=0.0001;
        if (Aw<0.0001)           Aw=0.0001;
        albedo= (Au*ALu) + (Ab*ALb) + (Aw*ALw);
        Tp=sqrt(sqrt((S*(1-albedo))/sb));
        Tw=F*(albedo-ALw)+Tp;
        Tb=F*(albedo-ALb)+Tp;

        GFb=1-(0.003265*(295.65-Tb)*(295.65-Tb));
        GFw=1-(0.003265*(295.65-Tw)*(295.65-Tw));
        if (GFb<0)                GFb=0;
        if (GFw<0)                GFw=0;

        dAb=Ab*(Au*GFb-0.3);
        dAw=Aw*(Au*GFw-0.3);
        Ab=Ab+dAb;
        Aw=Aw+dAw;
    }
}

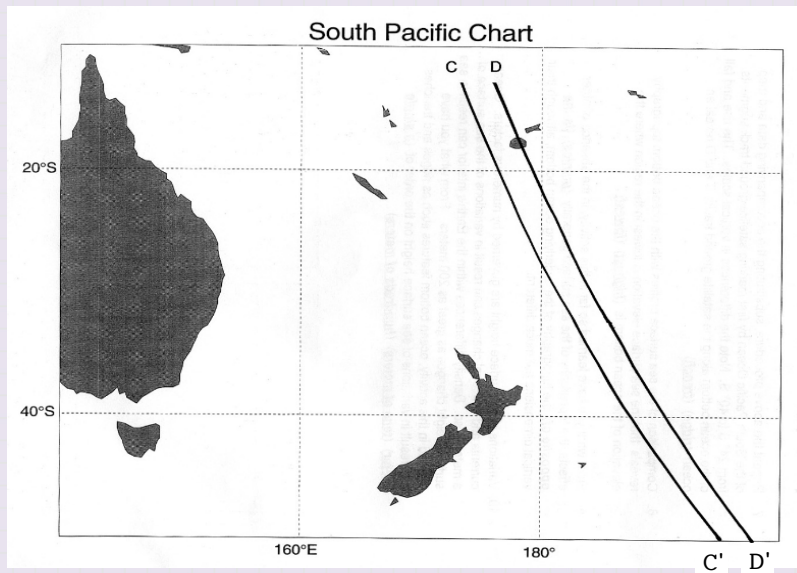
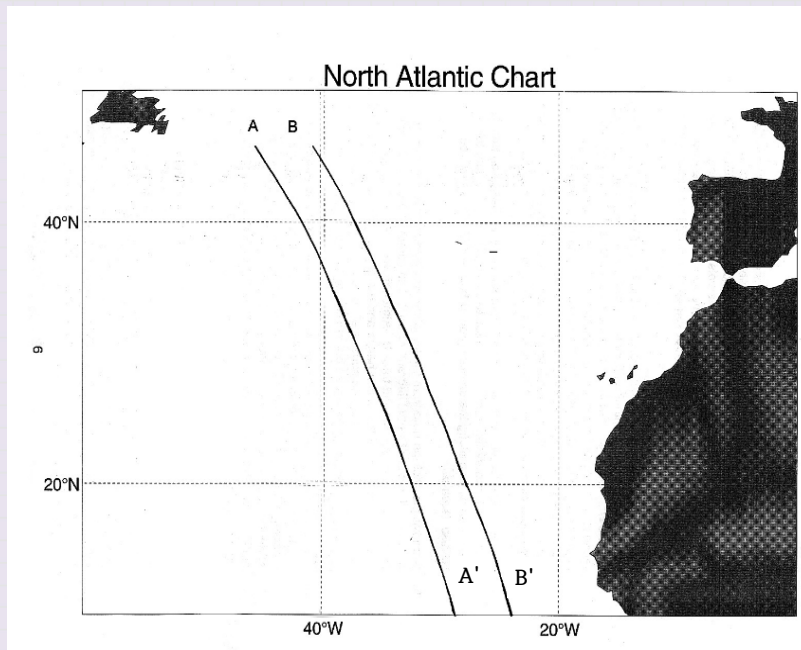
```

```
T[time]=Tp;
black[time]=Ab;
white[time]=Aw;

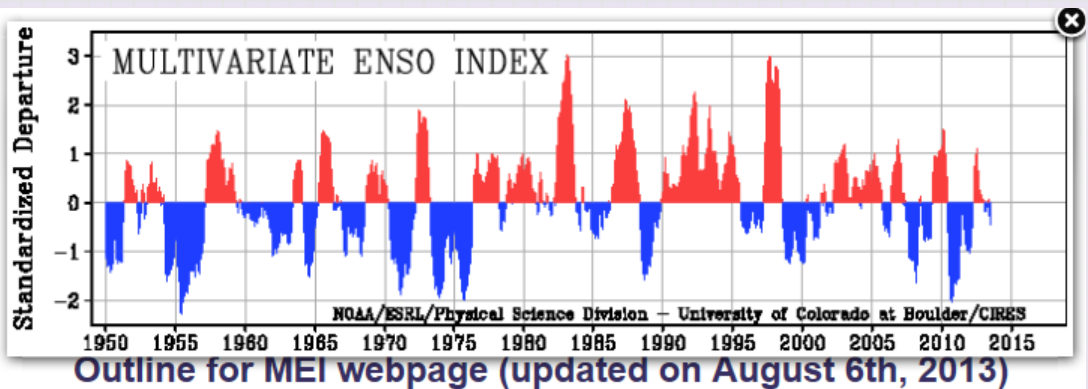
Tout << T[time] << endl;
blackout << black[time] << endl;
whiteout << white[time] << endl;
    }
}
```


208	그림 1. 틀림	그림 1과 그림 3(210쪽) 모두 수정 (6p 첨부)
-----	----------	-----------------------------------

208쪽 그림1과 210쪽 그림 3을 아래와 같이 수정합니다.



230	하단 그림	그림의 좌표값이 빠짐	그림의 좌표값을 넣었으며, 그림을 교체하였음 http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/ (6p 첨부)
-----	-------	-------------	--



지은이 소개

연구

책임 | 정진우(한국교원대학교)

집필

I. 살아있는 지구

남기수(대전과학고등학교) 경재복(한국교원대학교)

II. 지구의 물질과 변화

이영택(부산초읍중학교) 김정률(한국교원대학교) 위수민(한국교원대학교)

III. 대기와 해양

조병길(한국영재고등학교) 김학성(한국교원대학교)

IV. 지구의 환경

최상인(경기과학고등학교) 정진우(한국교원대학교)

V. 우주 속의 지구

이경훈(부산과학고등학교) 손정주(한국교원대학교)

검토

문병권(전북대학교)

송방연(울산과학고등학교)

안경진(조선대학교)

오석훈(강원대학교)

최성희(충남대학교)

추교형(제주과학고등학교)

김형범(완산고등학교)

연구원

김진화(한국교원대학교 대학원)

조은영(한국교원대학교 대학원)

김윤지(부산 덕포여자중학교)

고등학교 심화 지구과학

2011. 8. 22. 초판 1쇄 발행

2013. 3. 10. 초판 2쇄 발행

2015. 1. 30. 초판 3쇄 발행

2016. 2. 29. 초판 4쇄 발행

2017. 2. 28. 초판 5쇄 발행

발행인 | 한국과학창의재단 / 서울시 강남구 선릉로 602, 전화 02-555-0701

지은이 | 정진우 외 21인

인쇄인 | (주)지엔피링크 / 서울 마포구 월드컵북로 6길 12-9, 전화 02-6203-1532

* 이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상금은 문화관광부장관이 정하는 기준에 의거 한국복사전송권협회 (02-2608-2036)에서 저작재산권자에게 지급합니다.