

대기에 대한 소개

제1장

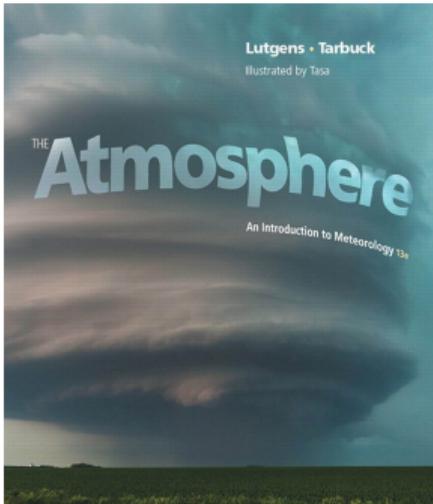
대기과학 및 실험 (2022)



박 기 현 (Kiehyun.Park@gmail.com)

과학영재학교 경기과학고등학교

2022년 8월 18일



ISBN-13: 978-0321984623

ISBN-10: 0321984625

This work is licensed under a Creative Commons “Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International” license.

- 이 문서는 오른쪽의 교재를 이용하여 경기과학고등학교의 대기과학및실험 강좌 수업을 위해 제작되었습니다.
- 그림의 저작권은 원저작자에게 있으며, 이를 교재로 사용하는 수업을 하는 경우에 한하여 이용할 수 있습니다.





대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

1 대기에 대한 포커스

2 과학적 탐구의 본성

3 시스템으로서의 지구

4 대기의 구성

5 대기의 연직 구조

극한 일기의 발생

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

▼ **Figure 1.1 An extraordinary winter** The winter of 2013–2014 brought record-breaking cold and snow to much of the eastern half of the conterminous United States. Meanwhile, Alaska and much of the West were much warmer and drier than usual.



- 날씨는 매일 뉴스에 나오는 일상의 한 부분
- 기록적인 기상현상의 발생 강도와 빈도가 증가하고 있음

인간과 대기

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



▲ Figure 1.2 People influence the atmosphere. Smoke bellows from a coal-fired electricity generating plant in New Delhi, India, in June 2008. In addition to smoke, this power plant also emits gases such as sulfur dioxide and carbon dioxide that contribute to air pollution and global climate change.

- 날씨는 개인에게 직접적인 피해를 주기도 하고
- 농업, 에너지 사용, 수자원, 수송, 산업 등에 영향을 미친다.
- 또한 인간은 대기환경에 영향을 미치고 있다

기상학, 날씨, 기후

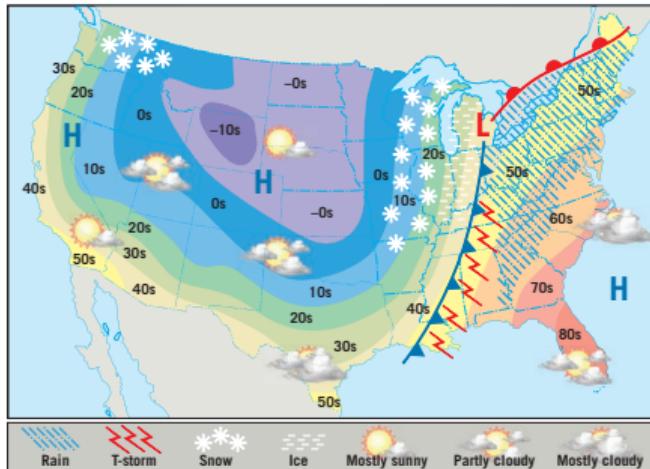
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



▲ Figure 1.3 Newspaper weather map A typical newspaper weather map for a day in late December. The color bands show predicted high temperatures for the day.

- 기상학(meteorology): 대기와 날씨에 대해 과학적으로 연구하는 학문
- 날씨(weather): 계속적으로 변화하며, 때때로 시간마다 또는 날마다 변하는 주어진 시간과 공간에서의 대기상태
- 기후(climate): 수십 년에 걸쳐 누적된 관측으로부터 얻는 통계적인 날씨 정보의 조합 (평균값, 변동과 극값뿐 아니라 예외적 현상이 일어날 가능성도 포함)

기상학, 날씨, 기후

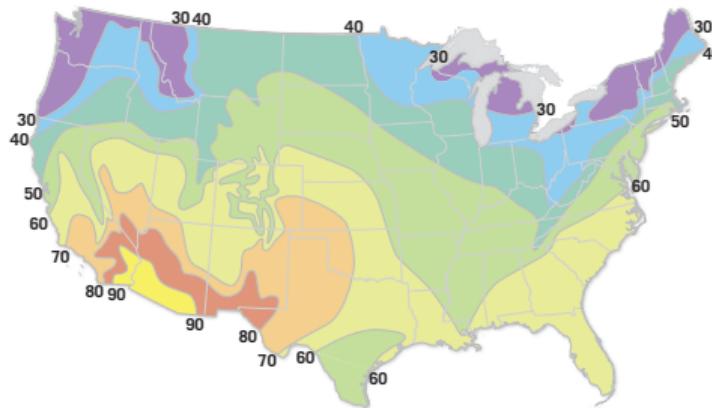
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



▲ Figure 1.4 November sunshine Mean percentage of possible sunshine for November for the contiguous 48 states. Southern Arizona is clearly the sunniest area. By contrast, parts of the Pacific Northwest receive a much smaller percentage of the possible sunshine. Climate maps such as this one are based on many years of data.

- 여러 종류의 자료로 부터 그 지역의 정보를 얻을 수 있다. 하지만 이 정보를 날씨를 예측할 수는 없다.
- 기상(기후) 요소: 기온, 공기의 습도, 구름의 종류와 양, 강수의 종류와 양, 기압, 바람의 세기와 방향

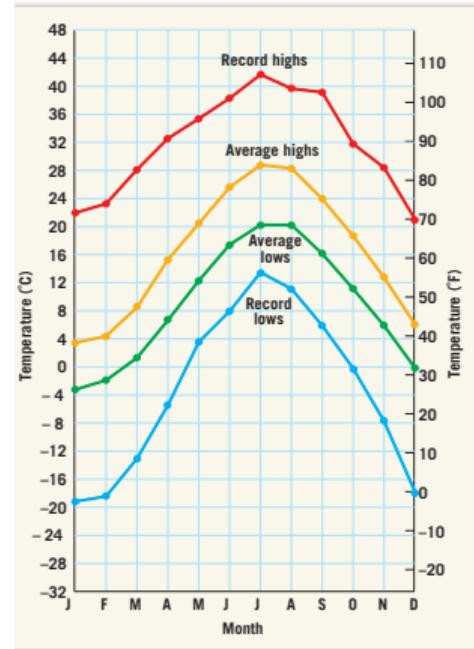


Figure 1.5 New York City temperatures In addition to the average maximum and minimum temperatures for each month, extremes are also shown. The graph is based on data collected during a 30-year span. It illustrates that there can be significant departures from the average.

기상재해: 기상 요소의 습격

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



- 많은 자연 재해가 대기와 관련되어 있다.

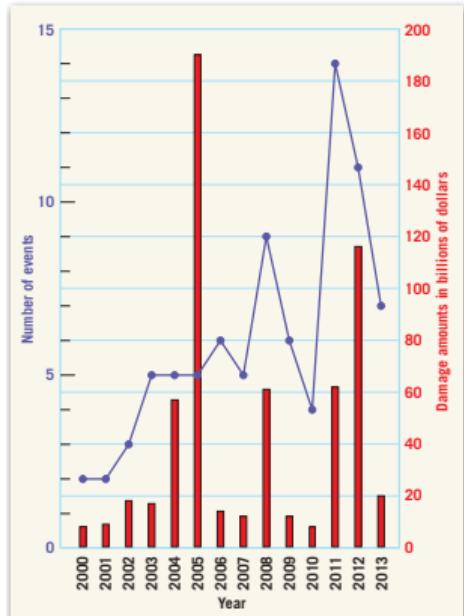


figure 1.7 Billion-dollar weather events Between 2000 and 3, the United States experienced 84 weather-related disasters in which overall damages and costs reached or exceeded \$1 billion. The line graph shows the number of events that occurred each year.



대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

1 대기에 대한 포커스

2 과학적 탐구의 본성

3 시스템으로서의 지구

4 대기의 구성

5 대기의 연직 구조



과학적 방법

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

- 자연 현상에 대한 질문
- 그 질문과 관련한 관측이나 측정을 통해 과학적 자료 모으기
- 그 자료와 관련한 질문을 던지고, 이 질문을 설명할 수 있는 한가지 이상의 적절한 가설 세우기
- 가설을 검증할 수 있는 관측, 실험, 모형 등을 세우기
- 엄격한 검증과정을 바탕으로 가설을 받아들이거나, 수정하거나, 기각하기
- 자료나 결과들을 비판적 의경과 추가적인 실험을 위해 과학계와 공유하기

관측과 측정

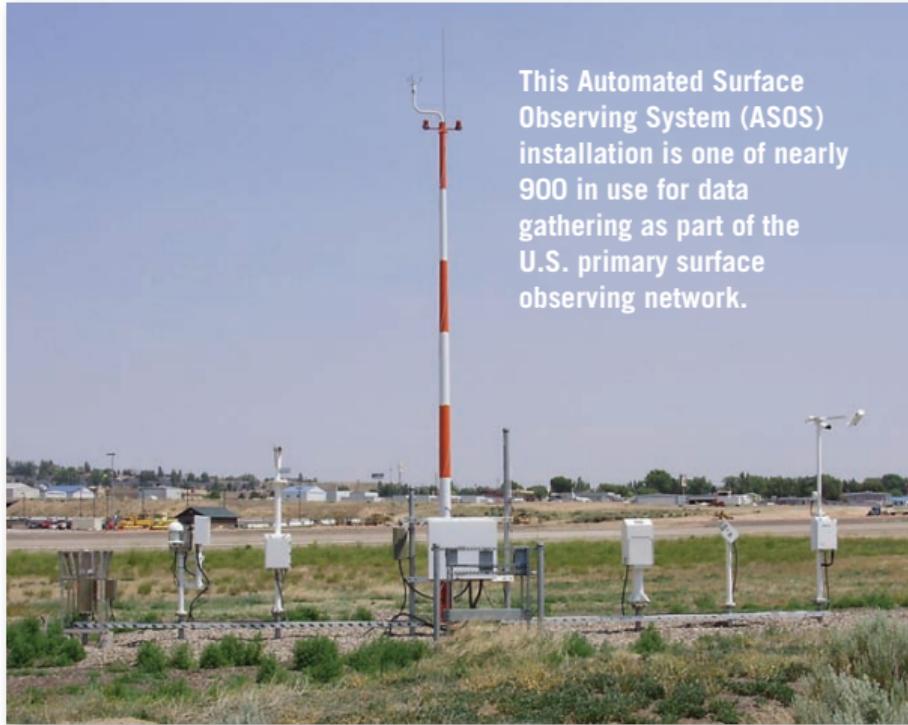
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



- 교과서에는 자동기상관측시스템 (Automated Surface Observing System) 표현되어 있음
- 보통 AWS라고 부르며, Automatic Weather Station 또는 Automatic Weather System 등으로 표현하며,
- 기온, 습도, 기압, 풍향, 풍속 등의 기상 요소들을 센서를 통해 그 값을 읽어 데이터 로거에 저장함.
- 통신과 인터넷의 발달로 자료를 바로 전송하기도 함.
- 우리나라 기상청에서도 많이 사용하고 있음.

우주에서의 지구 감시

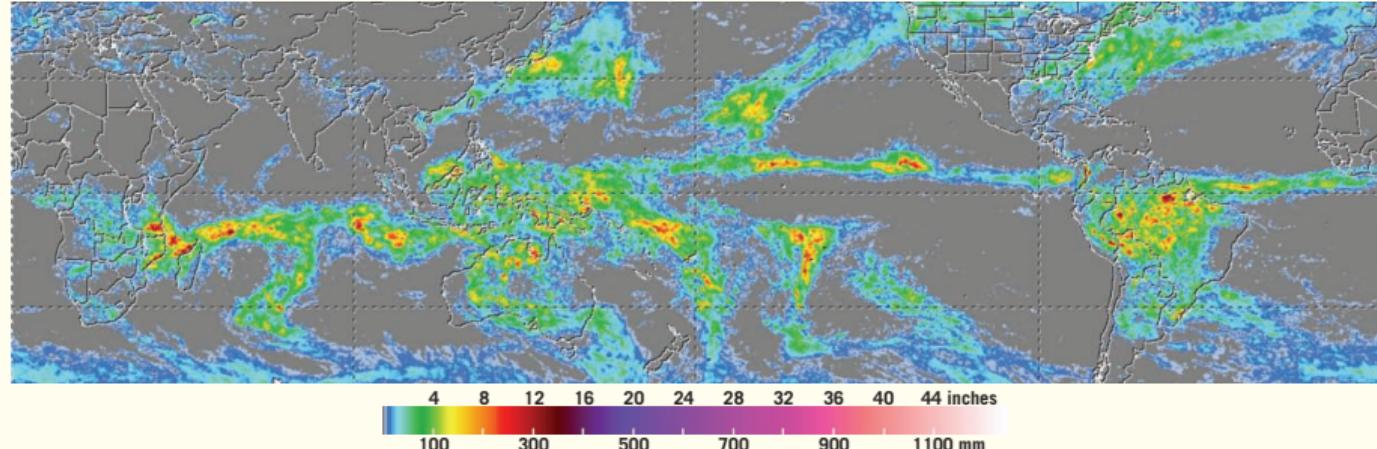
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



▲ **Figure 1.A Monitoring rainfall** This map shows rainfall for a 7-day period in February 2014.
It was constructed using *TRMM* data.

- NASA's Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)
- 인공위성을 이용한 지구 관측 자료는 아주 유용하게 사용된다.



대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

1 대기에 대한 포커스

2 과학적 탐구의 본성

3 시스템으로서의 지구

4 대기의 구성

5 대기의 연직 구조

대기권

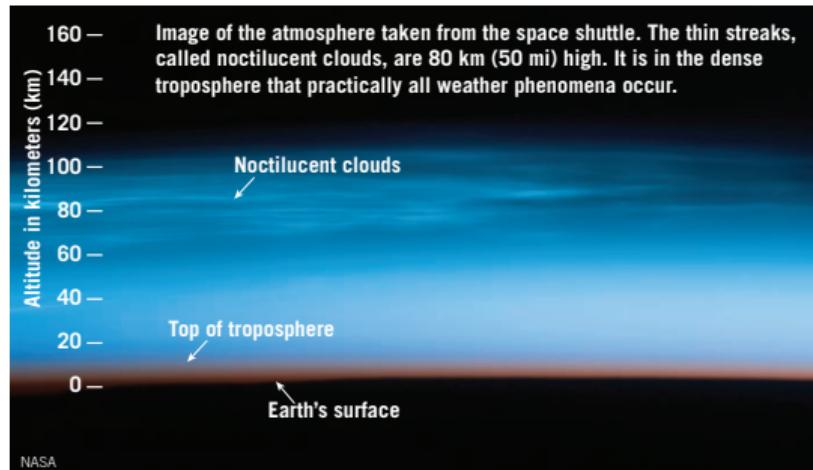
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



▲ Figure 1.11 A shallow layer The atmosphere is an integral part of the planet.

Q) 지구 반지름에 비해 대기의 두께는 얼마나 두꺼운가?

대기권

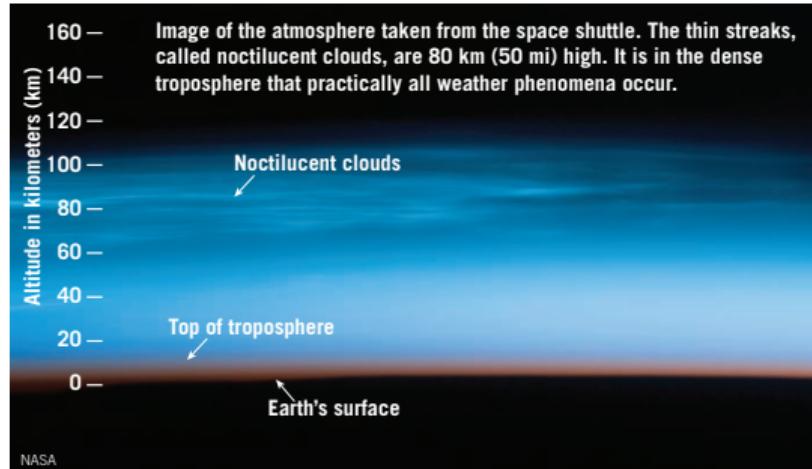
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



▲ Figure 1.11 A shallow layer The atmosphere is an integral part of the planet.

Q) 지구 반지름에 비해 대기의 두께는 얼마나 두꺼운가?

지구 반지름: 6370 km,
대류권: 10 km

Q) 야광운(Noctilucent clouds)이 무엇인가?

대기권

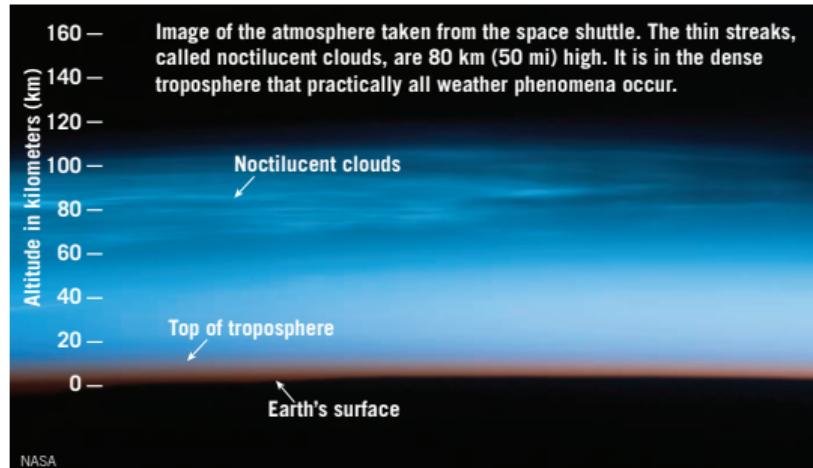
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



▲ Figure 1.11 A shallow layer The atmosphere is an integral part of the planet.

Q) 지구 반지름에 비해 대기의 두께는 얼마나 두꺼운가?

지구 반지름: 6370 km,
대류권: 10 km

Q) 야광운(Noctilucent clouds)이 무엇인가?

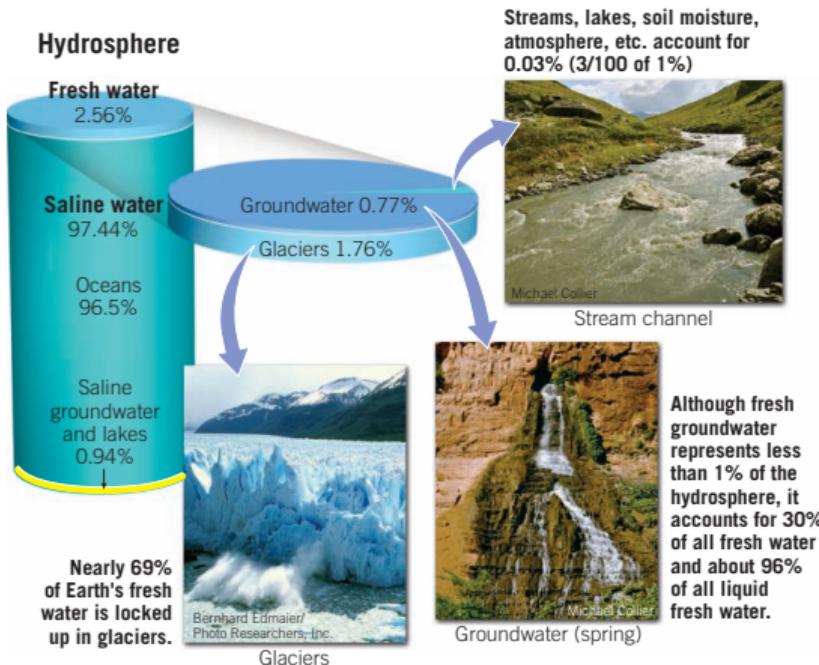
야광운(夜光雲)은 고위도지방 $70 \sim 90^{\circ}$ 부근 고도 $76 \sim 85$ km 높이의 중간 권에 생기는 구름을 말한다. 약 120년 전에 처음 관측되었으나 그 높이에서 왜 생기는지는 아직 알 수 없다.

물의 행성

대기에 대한
포커스
과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성
대기의 연직
구조

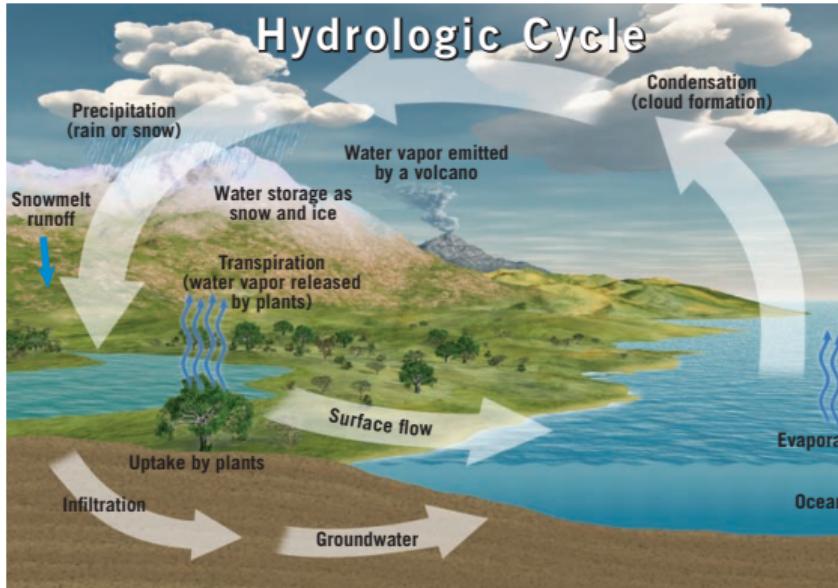


▲ Figure 1.12 The water planet Distribution of water in the hydrosphere.

- 지구를 푸른 행성이라고 부름
- 지구 상에 존재하는 물 중에서 하천, 호수, 빙하, 지하수 및 대기 중의 수분은 아주 적지만, 생물권에 많은 영향을 미침

물 순환

▼ **Figure 1.15 The hydrologic cycle** Water readily changes state from liquid, to gas (vapor), to solid at the temperatures and pressures occurring on Earth. This cycle traces the movements of water among Earth's four spheres. It is one of many subsystems that collectively make up the Earth system.



- 물의 순환은 시작과 끝이 없음
- 바닷물은 증발(evaporation)되고, 얼음과 눈은 수증기로 바로 승화, 식물의 증발산(evapotranspiration)
- 대기 중의 수증기는 대기로 올라가며 여기서 온도가 차가워지면 구름에 응축
- 구름의 입자는 충돌하고 상승하다가 강수(precipitation) 현상을 일으킴
- 일부 강수는 눈으로 떨어지며 수천년에 걸쳐 언 물을 담을 수 있는 만년설이나 빙하

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

지구 시스템 과학

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



- 지구계(earth system)는 에너지 교환은 일어나지만, 물질 교환은 일어나지 않는 단한계
- 지권, 기권, 수권, 생물권 그리고 외권이 서로 상호작용하며 서로 다른 부분들을 종합적으로 접근하는 방식



대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

1 대기에 대한 포커스

2 과학적 탐구의 본성

3 시스템으로서의 지구

4 대기의 구성

5 대기의 연직 구조

대기의 구성

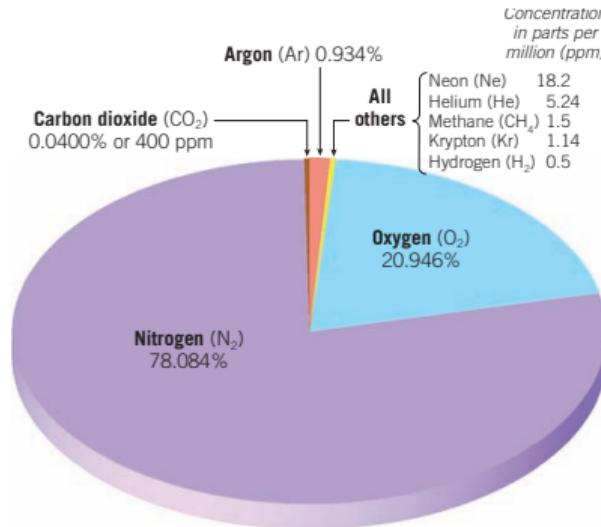


Figure 1.17 Composition of the atmosphere Proportional volumes composing dry air. Nitrogen and oxygen obviously dominate.

- 건조 공기: 공기에서 수증기를 제외한 나머지 기체
- 대기 중 수증기 농도가 시공간적으로 변하기 때문에 보통 건조공기를 기준으로 대기의 조성을 나타냄. (1 ~ 4%)

- 1 영구 기체: 생명체와 화학반응에 중요
ex) 질소, 산소, (이산화탄소)
- 2 변량 기체: 기상현상에 중요
ex) 수증기, 에어로졸, 오존 등

Q) 대기의 평균 분자량을 계산하시오.

대기의 구성

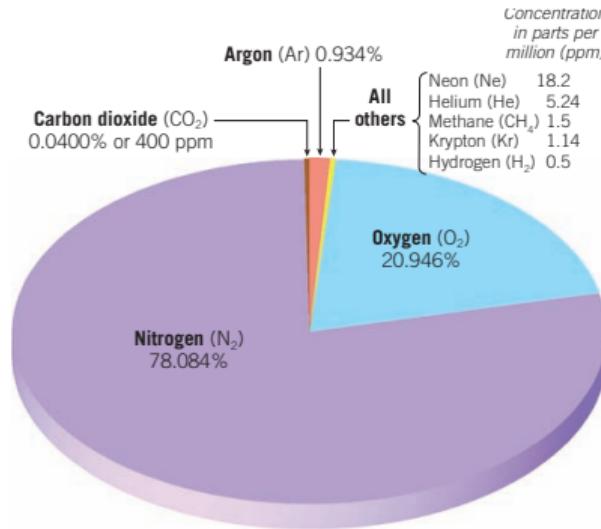


Figure 1.17 Composition of the atmosphere Proportional volumes composing dry air. Nitrogen and oxygen obviously dominate.

- 건조 공기: 공기에서 수증기를 제외한 나머지 기체
- 대기 중 수증기 농도가 시공간적으로 변하기 때문에 보통 건조공기를 기준으로 대기의 조성을 나타냄. (1 ~ 4%)

- 1 영구 기체: 생명체와 화학반응에 중요
ex) 질소, 산소, (이산화탄소)
- 2 변량 기체: 기상현상에 중요
ex) 수증기, 에어로졸, 오존 등

Q) 대기의 평균 분자량을 계산하시오.

$$(28 \times 0.7808) + (32 \times 0.2095) + (40 \times 0.0093) + (44 \times 0.0004) = 28.96$$

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



영구 기체

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

- 1 질소 :** 토양 박테리아의 생물학적 작용으로 대기에서 소멸(질소고정).
⇒ 동식물의 부패과정으로 대기로 돌아옴.
- 2 산소 :** 유기물이 산화하거나 다른 원소와 결합하여 산화물 생성할 때 혹은 생물이 호흡할 때 대기에서 소멸.
⇒ 식물의 광합성 작용을 통해 대기로 돌아옴.
- 3 이산화탄소 :** 박테리아의 발효 및 탈질화 과정, 동식물 세포의 호기성 호흡 등 생물학적 기작으로 생성, 일산화탄소와 유기가스의 화학적 산화, 화산에서의 기체 방출, 화석연료 연소 등 자연적 및 인위적 생성.
⇒ 광합성 반응, 지표수에의 용해, 화학적 부식 등으로 대기 중 제거

지구 대기의 진화

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연작
구조



<http://goo.gl/oYExbE>

▼ **Figure 1.B Outgassing** Earth's first enduring atmosphere was formed by a process called *outgassing*, which continues today, from hundreds of active volcanoes worldwide.



- 1 1차 원시 대기: 원시 행성을 이루고 있는 대기.
⇒ 수소, 헬륨이 주성분이고 그 외 메테인, 암모니아,
수증기, 이산화 탄소 등

- 2 2차 원시 대기: 원시 행성의 화산폭발로 인해 지구
내부의 가스가 분출됨.
⇒ 수증기, 이산화탄소, 이산화황, 소량 가스로 구성
추정.

Q) 1차 원시대기가 사라진 과정을 설명하시오.

지구 대기의 진화

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



- 1 1차 원시 대기: 원시 행성을 이루고 있는 대기.
⇒ 수소, 헬륨이 주성분이고 그 외 메테인, 암모니아, 수증기, 이산화 탄소 등

- 2 2차 원시 대기: 원시 행성의 화산폭발로 인해 지구 내부의 가스가 분출됨.
⇒ 수증기, 이산화탄소, 이산화황, 소량 가스로 구성 추정.

Q) 1차 원시대기가 사라진 과정을 설명하시오.

수소 헬륨 등의 기체는 초기 지구의 기온이 높아 평균제곱근 속도가 매우 커서, 지구 중력이 수소와 헬륨을 잡아둘 정도로 강하지 못하여 중력으로부터 탈출하였고, 나머지 기체도 강력한 태양풍(T-tauri별)에 의해 우주공간으로 날라가서 매우 짧은 기간에 1차 원시 대기를 잊게 됨.

Q) 아웃개싱(outgassing)이란 무엇이며 지구 대기 형성에 어떤 영향을 끼쳤는가?

지구 대기의 진화

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



- 1 1차 원시 대기: 원시 행성을 이루고 있는 대기.
⇒ 수소, 헬륨이 주성분이고 그 외 메테인, 암모니아, 수증기, 이산화 탄소 등

- 2 2차 원시 대기: 원시 행성의 화산폭발로 인해 지구 내부의 가스가 분출됨.
⇒ 수증기, 이산화탄소, 이산화황, 소량 가스로 구성 추정.

Q) 1차 원시대기가 사라진 과정을 설명하시오.

수소 헬륨 등의 기체는 초기 지구의 기온이 높아 평균제곱근 속도가 매우 커서, 지구 중력이 수소와 헬륨을 잡아둘 정도로 강하지 못하여 중력으로부터 탈출하였고, 나머지 기체도 강력한 태양풍(T-tauri별)에 의해 우주공간으로 날라가서 매우 짧은 기간에 1차 원시 대기를 잃게 됨.

Q) 아웃가싱(outgassing)이란 무엇이며 지구 대기 형성에 어떤 영향을 끼쳤는가?

행성 내부에 갖힌 가스가 방출되는 과정으로 오늘날에도 세계 곳곳의 화산에서 일어나고 있다. 지구 초기에는 거대한 열과 유체의 운동에 의해 엄청난 양의 기체가 행성 내부로 부터 공급되었을 것으로 추정된다.

지구 대기의 진화

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



Q) 2차 원시 대기가 형성된 이후, 산소가 나타나는 과정을 간단히 설명하시오.

▲ **Figure 1.C Atmospheric change recorded in the rocks** These ancient layered, iron-rich rocks, called *banded iron formations*, were deposited during a geologic span known as the Precambrian. Much of the oxygen generated as a byproduct of photosynthesis was readily consumed by chemical reactions with iron to produce these rocks.

지구 대기의 진화

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연적
구조



▲ **Figure 1.C Atmospheric change recorded in the rocks** These ancient layered, iron-rich rocks, called *banded iron formations*, were deposited during a geologic span known as the Precambrian. Much of the oxygen generated as a byproduct of photosynthesis was readily consumed by chemical reactions with iron to produce these rocks.

Q) 2차 원시 대기가 형성된 이후, 산소가 나타나는 과정을 간단히 설명하시오.

지구가 식으면서 대기 중의 수증기가 모여 비를 내리고 바다가 형성됨. 바다에서 광합성 박테리아가 산소를 물에 방출하게 되었으며, 초기에는 방출 된 산소가 다른 원자, 분자와 반응하여 쉽게 소비됨(호상 철광층). 유기체의 수가 점차 증가하면서 산소가 대기중으로 방출되었음.

Q) 2차 원시 대기에서 상당한 비율을 차지했던 이산화 탄소의 비율이 줄어든 이유를 설명하시오.

지구 대기의 진화

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연적
구조



▲ **Figure 1.C Atmospheric change recorded in the rocks** These ancient layered, iron-rich rocks, called *banded iron formations*, were deposited during a geologic span known as the Precambrian. Much of the oxygen generated as a byproduct of photosynthesis was readily consumed by chemical reactions with iron to produce these rocks.

Q) 2차 원시 대기가 형성된 이후, 산소가 나타나는 과정을 간단히 설명하시오.

지구가 식으면서 대기 중의 수증기가 모여 비를 내리고 바다가 형성됨. 바다에서 광합성 박테리아가 산소를 물에 방출하게 되었으며, 초기에는 방출 된 산소가 다른 원자, 분자와 반응하여 쉽게 소비됨(호상 철광층). 유기체의 수가 점차 증가하면서 산소가 대기중으로 방출되었음.

Q) 2차 원시 대기에서 상당한 비율을 차지했던 이산화 탄소의 비율이 줄어든 이유를 설명하시오.

대기로 방출된 이산화 탄소는 바다의 물과 반응하여 용해되었으며, 여러 단계의 화학과정을 거쳐서 탄산 칼슘이 되었다. 탄산 칼슘은 물에 녹지 않지만, 산호의 껍질과 같은 곳에 이용되고, 석회암을 형성하는데 사용되었다. 이로 인해 현재 대기 중에 존재하는 이산화 탄소의 비율은 2차 원시 대기에 비해 매우 작다.



변량 기체

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

- 1 수증기 : 구름과 강수의 근원, 지구복사에너지 흡수, 잠열 수송
- 2 에어로졸 : 자연 혹은 인간활동으로 인해 생성된 입자가 공기중에 떠다니는 것
ex) 해염, 흙, 연기와 그을음, 꽃가루, 화산폭발 시 먼지 등
⇒ 수증기 응결핵 역할, 태양복사에너지 흡수 및 반사, 광학적 현상 발생원인
- 3 오존 : 대기 중에 차지하는 양은 적으며, 분포가 일정하지 않음. 산소 분자가 자외선을 흡수하면 산소 원자로 쪼개지며, 이 원자가 산소 분자와 충돌하면서 오존이 생성됨. 이때, 촉매가 필요함.
단일 산소 원자를 만들 수 있는 자외선 복사가 충분하며, 충돌이 일어나는데 필요한 기체 분자들이 충분하게 존재하는 약 10 ~ 50 km 고도에 집중(보통 약 25 km 고도에서 최대)

이산화 탄소 농도(킬링 커브)

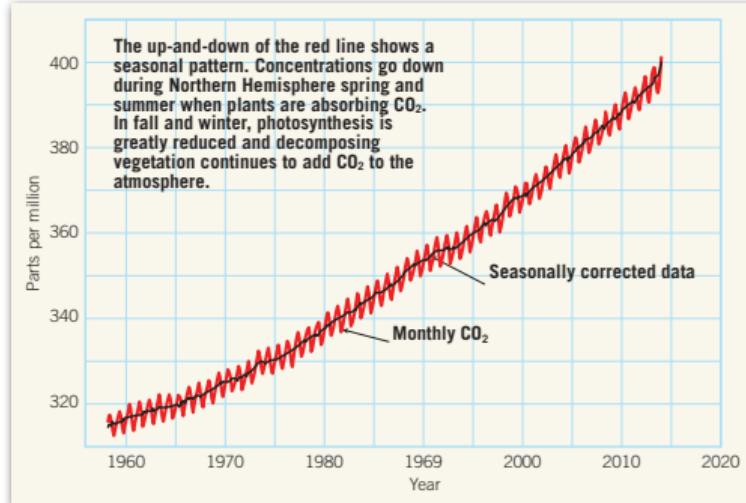
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



<http://goo.gl/xcXbL>

▲ SmartFigure 1.18 Monthly CO₂ concentrations Atmospheric CO₂ has been measured at Mauna Loa Observatory, Hawaii, since 1958. There has been a consistent increase since monitoring began. This graphic portrayal is known as the Keeling Curve, in honor of the scientist who originated the measurements.

- 하와이 마우나 로아(해발 4169 m) 산 정상에 있는 대기 관측소에서 1958년부터 이산화 탄소의 농도와 지구 기온을 정밀하게 측정
- 찰스 데이비드 킬링(Charles David Keeling, 1928 ~ 2005)의 이름을 따서 킬링 커브라로 함.
- 세계기상기구(WMO) 지정
- 이산화탄소 세계표준센터인 NOAA가 이곳을 관할

Q) 마우나 로아 산 정상에 관측소를 설치한 이유는 무엇인가?

이산화 탄소 농도(킬링 커브)

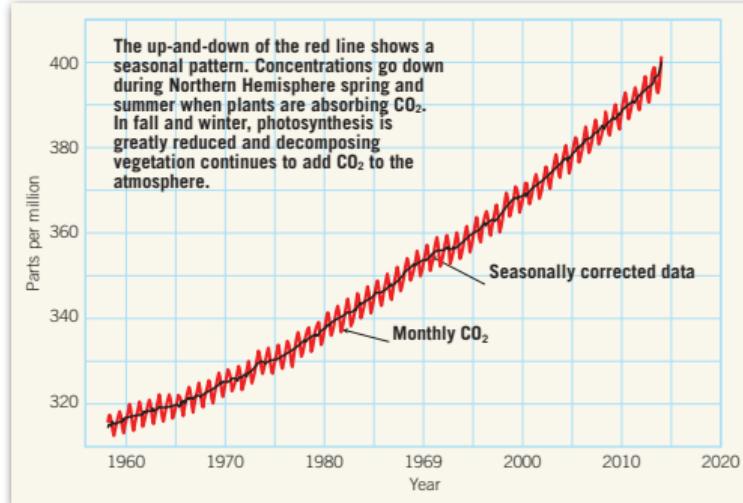
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



▲ SmartFigure 1.18 Monthly CO₂ concentrations Atmospheric CO₂ has been measured at Mauna Loa Observatory, Hawaii, since 1958. There has been a consistent increase since monitoring began. This graphic portrayal is known as the Keeling Curve, in honor of the scientist who originated the measurements.

- 하와이 마우나 로아(해발 4169 m) 산 정상에 있는 대기 관측소에서 1958년부터 이산화 탄소의 농도와 지구 기온을 정밀하게 측정
- 찰스 데이비드 킬링(Charles David Keeling, 1928 ~ 2005)의 이름을 따서 킬링 커브라로 함.
- 세계기상기구(WMO) 지정
- 이산화탄소 세계표준센터인 NOAA가 이곳을 관할

Q) 마우나 로아 산 정상에 관측소를 설치한 이유는 무엇인가?

태평양 한가운데에 위치하고, 고도가 높아 대도시의 오염물질의 영향을 거의 받지 않아 지구 배경 농도를 측정할 수 있기 때문이다.

이산화 탄소

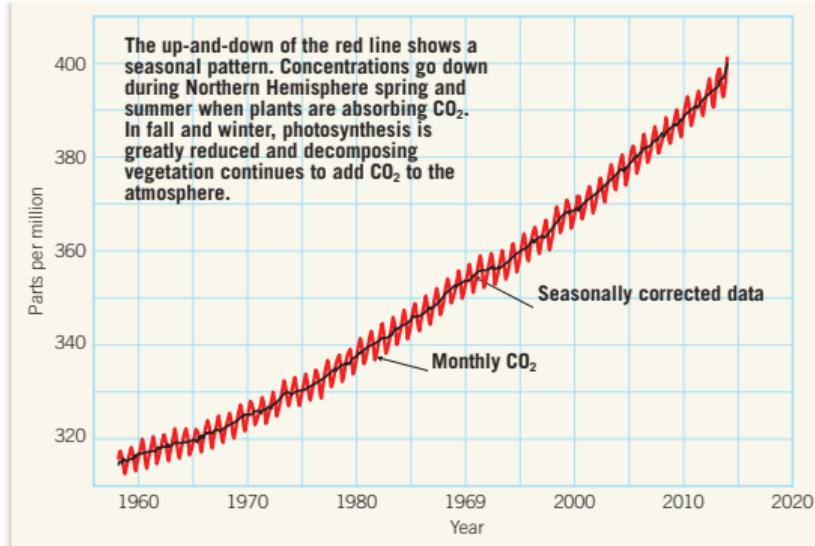
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



Q) CO₂ 농도가 1년 주기의 패턴을 보이는 이유는 무엇인가?



▲ SmartFigure 1.18 Monthly CO₂ concentrations Atmospheric CO₂ has been measured at Mauna Loa Observatory, Hawaii, since 1958. There has been a consistent increase since monitoring began. This graphic portrayal is known as the Keeling Curve, in honor of the scientist who originated the measurements.

<http://goo.gl/xcXbl>

이산화 탄소

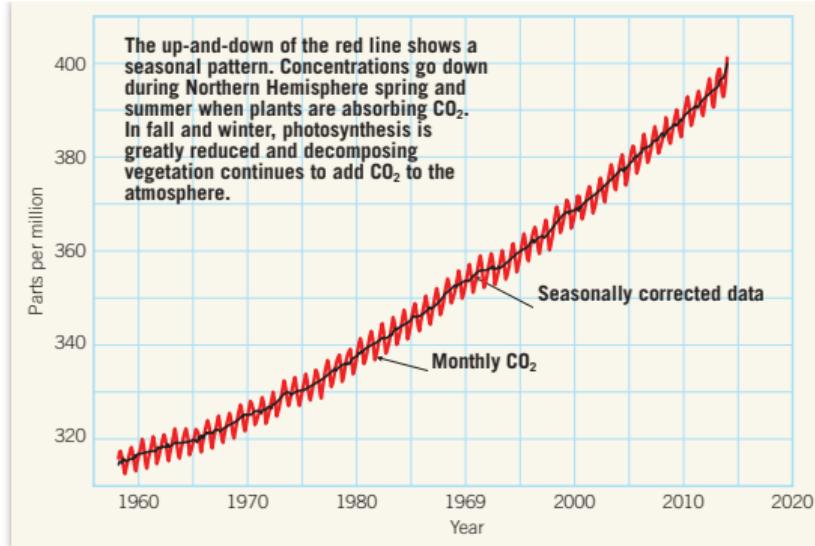
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



<http://goo.gl/xcXbl>

▲ SmartFigure 1.18 Monthly CO₂ concentrations Atmospheric CO₂ has been measured at Mauna Loa Observatory, Hawaii, since 1958. There has been a consistent increase since monitoring began. This graphic portrayal is known as the Keeling Curve, in honor of the scientist who originated the measurements.

Q) CO₂ 농도가 1년 주기의 패턴을 보이는 이유는 무엇인가?

육지가 더 많이 분포하는 북반구가 여름 일 때, 식물의 광합성량 증가로 CO₂ 농도가 낮아지고, 북반구가 겨울일 때 식물의 광합성량이 감소하고, 식물이 부패하며, 난방을 위한 연료 소모 증가로 CO₂ 농도가 증가함.

에어로졸

대기에 대한
포커스
과학적 탐구의
본성
시스템으로서
의 지구
대기의 구성
대기의 연직
구조

▼ **Figure 1.19 Aerosols** A. The satellite image shows two examples of aerosols. First, a large dust storm is blowing across northeastern China toward the Korean Peninsula. Second, a dense haze toward the south (bottom center) is human-generated pollution. B. As the photo on the right shows, dust in the air can cause sunsets to be especially colorful.



- 지구 대기 중을 떠도는 미세한 고체 입자 또는 액체 방울 자연적으로 발생하는 에어로졸인 먼지 폭풍(황사)은 구성 물질의 입자가 큰 편
- 인공적인 대기 오염으로 발생하는 에어로졸은 스모그 등이 있음.

오존의 감소: 전 지구적 문제

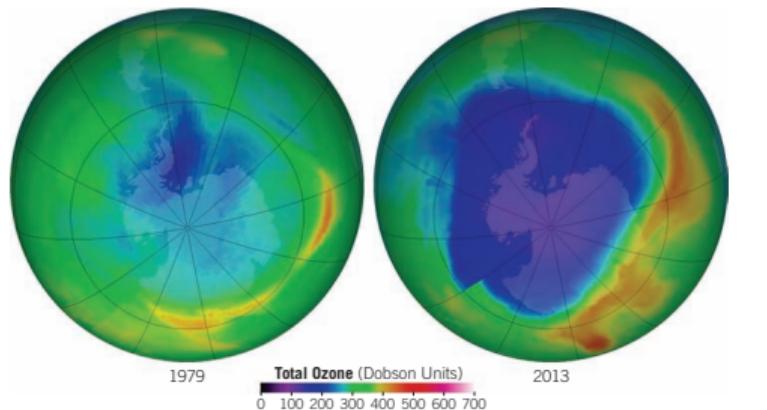
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



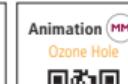
▲ SmartFigure 1.20 Antarctic ozone hole. The two satellite images show ozone distribution in the Southern Hemisphere on the days in September 1979 and 2013 when the ozone hole was largest. The dark blue shades over Antarctica correspond to the region with the sparsest ozone. The ozone hole is not technically a "hole" where no ozone is present but a region of exceptionally depleted ozone in the stratosphere over the Antarctic that occurs in the spring.



<http://goo.gl/qH9Hy>

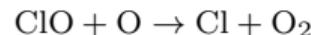
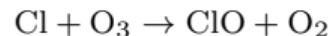


<http://goo.gl/lIiKhez>



<http://goo.gl/Z9LsBX>

- CFC는 하층 대기에서 화학적으로 비활성이지만, 오존층에서는 태양복사에너지에 의해 각 구성원소로 분리되며, 이 과정을 통해 염소 이온이 대기 중에 방출됨.
- 염소는 촉매 순환 반응에 의해 지속적으로 오존층 파괴 가능



Q) 독슨 단위(Dobson Units)에 대해 설명하시오.

오존의 감소: 전 지구적 문제

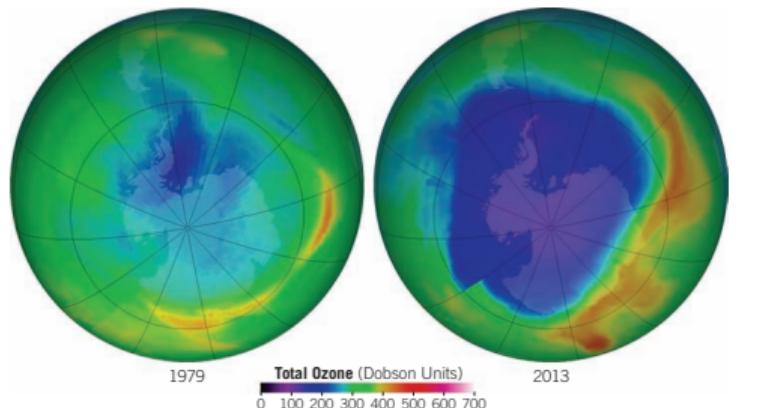
대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



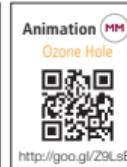
▲ SmartFigure 1.20 Antarctic ozone hole The two satellite images show ozone distribution in the Southern Hemisphere on the days in September 1979 and 2013 when the ozone hole was largest. The dark blue shades over Antarctica correspond to the region with the sparsest ozone. The ozone hole is not technically a "hole" where no ozone is present but a region of exceptionally depleted ozone in the stratosphere over the Antarctic that occurs in the spring.



<http://goo.gl/qH9Hy>

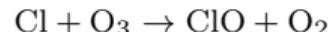


<http://goo.gl/lIiKhez>



<http://goo.gl/29LsBX>

- CFC는 하층 대기에서 화학적으로 비활성이지만, 오존층에서는 태양복사에너지에 의해 각 구성원소로 분리되며, 이 과정을 통해 염소 이온이 대기 중에 방출됨.
- 염소는 촉매 순환 반응에 의해 지속적으로 오존층 파괴 가능



Q) 독슨 단위(Dobson Units)에 대해 설명하시오.

독슨 단위 (Dobson units; DU)로도 표시하는데 1 독슨은 지구 대기중 오존의 총량을 0°C, 1 기압의 표준상태에서 두께로 환산했을 때 0.01 mm에 상당하는 양을 말한다.



대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

1 대기에 대한 포커스

2 과학적 탐구의 본성

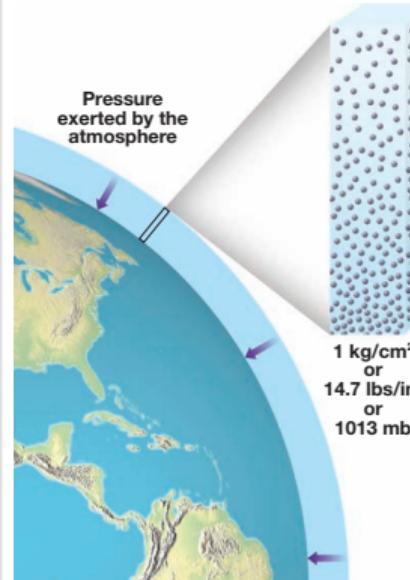
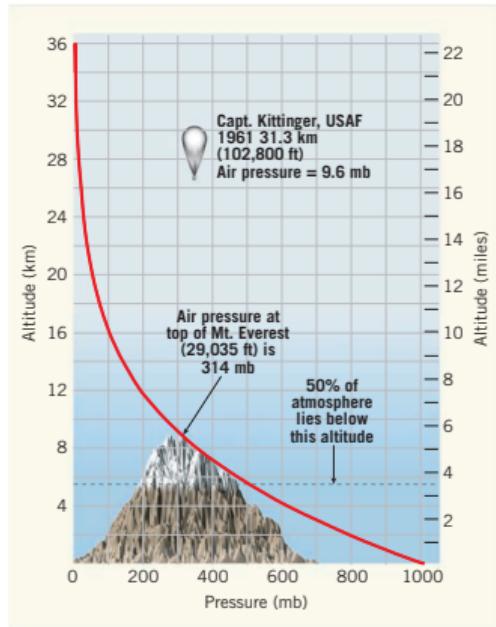
3 시스템으로서의 지구

4 대기의 구성

5 대기의 연직 구조

고도에 따른 기압의 변화

대기에 대한
포커스
과학적 탐구의
본성
시스템으로서
의 지구
대기의 구성
대기의 연직
구조

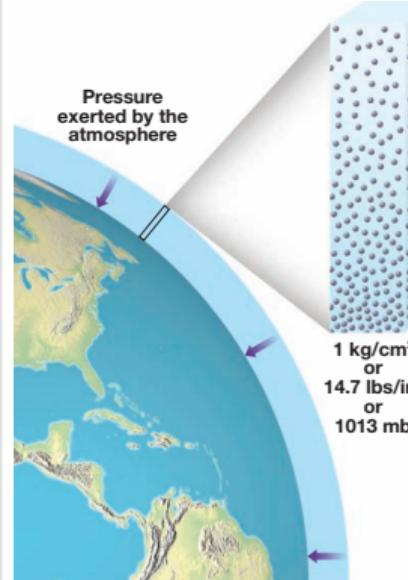
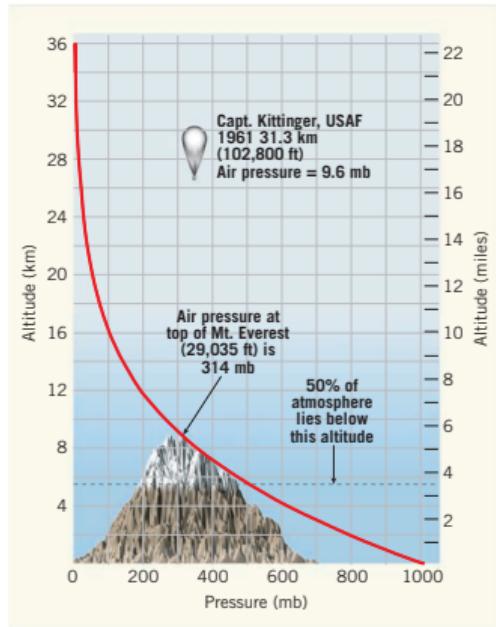


Q) 제트기가 10 km 상공에서 순항하고 있다. 이곳의 기압은?

▲ **Figure 1.21 Air pressure changes with altitude** The rate of pressure decrease with an increase in altitude is not constant. Pressure decreases rapidly near Earth's surface and more gradually at greater heights. Put another way, the figure shows that the vast bulk of the gases making up the atmosphere is very near Earth's surface and that the gases gradually merge with the emptiness of space.

고도에 따른 기압의 변화

대기에 대한
포커스
과학적 탐구의
본성
시스템으로서
의 지구
대기의 구성
대기의 연직
구조



Q) 제트기가 10 km 상공에서 순항하고 있다. 이곳의 기압은?

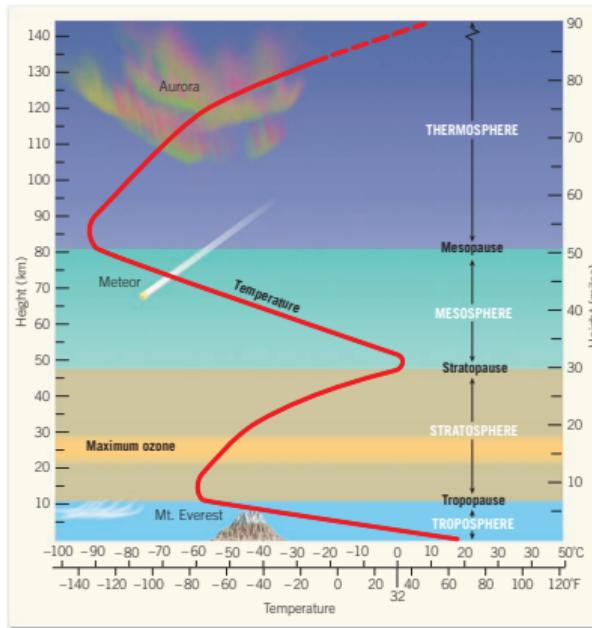
약 300 hPa

▲ **Figure 1.21 Air pressure changes with altitude** The rate of pressure decrease with an increase in altitude is not constant. Pressure decreases rapidly near Earth's surface and more gradually at greater heights. Put another way, the figure shows that the vast bulk of the gases making up the atmosphere is very near Earth's surface and that the gases gradually merge with the emptiness of space.

고도에 따른 기온

대기에 대한
포커스
과학적 탐구의
본성
시스템으로서
의 지구
대기의 구성
대기의 연직
구조

▼ Figure 1.23 Thermal structure of the atmosphere Earth's atmosphere is traditionally divided into four layers, based on temperature.

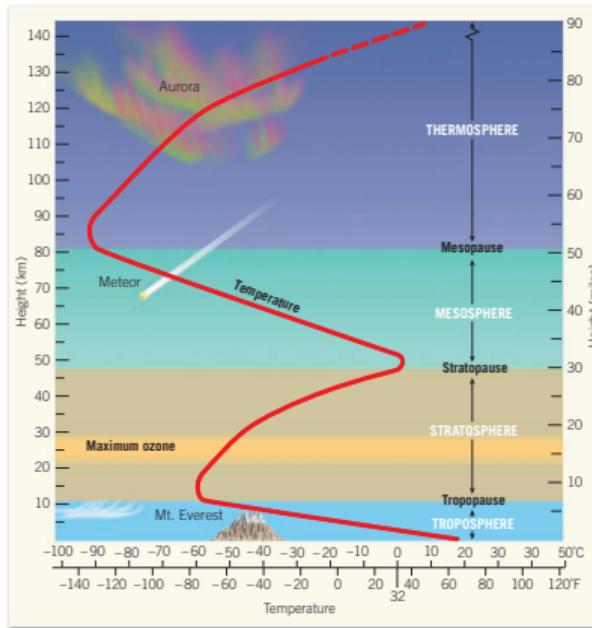


Q) 대기권을 대류권, 성층권, 중간권, 열권으로 구분하는 기준은 무엇인가?

고도에 따른 기온

대기에 대한
포커스
과학적 탐구의
본성
시스템으로서
의 지구
대기의 구성
대기의 연직
구조

▼ Figure 1.23 Thermal structure of the atmosphere Earth's atmosphere is traditionally divided into four layers, based on temperature.



Q) 대기권을 대류권, 성층권, 중간권, 열권으로 구분하는 기준은 무엇인가?

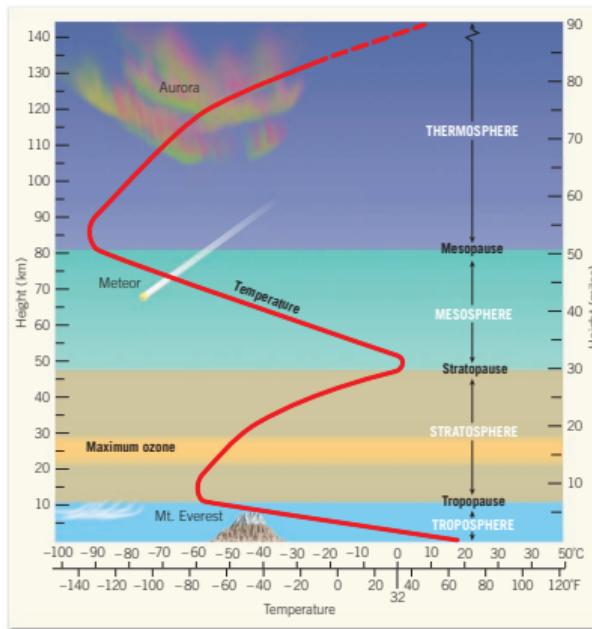
고도에 따른 기온 변화

Q) 성층권에서 고도가 상승함에 따라 기온이 증가하는 이유를 설명하시오.

고도에 따른 기온

대기에 대한
포커스
과학적 탐구의
본성
시스템으로서
의 지구
대기의 구성
대기의 연직
구조

▼ Figure 1.23 Thermal structure of the atmosphere Earth's atmosphere is traditionally divided into four layers, based on temperature.



Q) 대기권을 대류권, 성층권, 중간권, 열권으로 구분하는 기준은 무엇인가?

고도에 따른 기온 변화

Q) 성층권에서 고도가 상승함에 따라 기온이 증가하는 이유를 설명하시오.

오존은 고도 25 km 부근에 가장 많이 분포하지만, 성층권 내에는 오존이 전체적으로 존재하기 때문에 성층권 전역에서 자외선 흡수가 발생한다.

비록 성층권 상층의 오존 밀도가 오존층보다는 작더라도 도달하는 태양복사 에너지가 성층권 상층이 더 많기 때문에 흡수량도 성층권 상층이 더 많음. 그래서 고도가 클수록 기온이 높다.

대류권계면의 높이

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

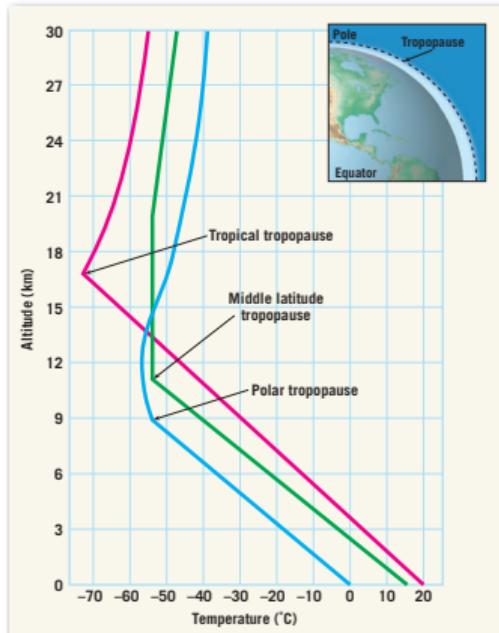


Figure 1.25 Differences in the height of the tropopause The variation in the height of the tropopause, as shown on the small inset diagram, is greatly exaggerated.

Q) 위도에 따른 대류권계면의 높이는 어떠하며, 그렇게 변하는 이유는 무엇인가?

대류권계면의 높이

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

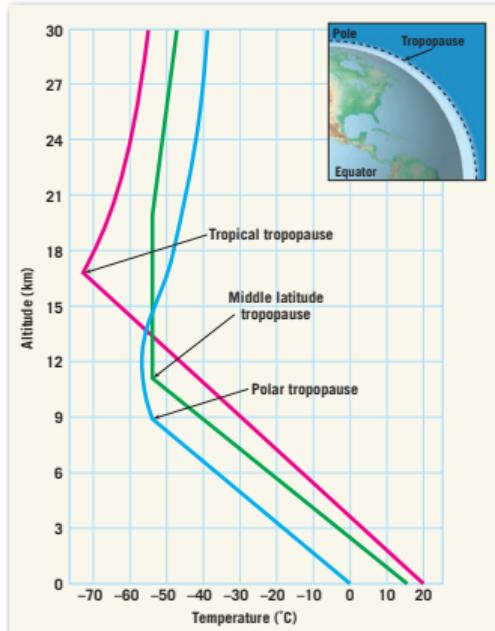


Figure 1.25 Differences in the height of the tropopause The variation in the height of the tropopause, as shown on the small inset diagram, is greatly exaggerated.

Q) 위도에 따른 대류권계면의 높이는 어떠하며, 그렇게 변하는 이유는 무엇인가?

대류권계면의 높이는 저위도에서 높고, 고위도로 갈수록 낮아지는 경향을 보인다. 이 이유는 대류권은 주로 지표에 의해 가열되고 냉각되는데, 지표면의 온도가 높은 저위도에서 더 높은 곳까지 가열하여 영향을 미치기 때문이다.

▼ Figure 1.22 Temperature change in the troposphere
Snow-capped mountains and snow-free lowlands are a reminder that temperatures decrease as we go higher in the troposphere.



Q) 높은 산 위에 눈이 보이는 이유를 설명하시오.

대류권계면의 높이

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조

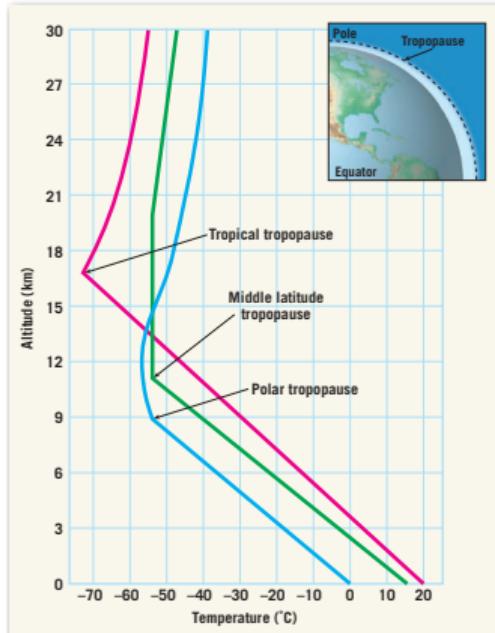


Figure 1.25 Differences in the height of the tropopause The variation in the height of the tropopause, as shown on the small inset diagram, is greatly exaggerated.

Q) 위도에 따른 대류권계면의 높이는 어떠하며, 그렇게 변하는 이유는 무엇인가?

대류권계면의 높이는 저위도에서 높고, 고위도로 갈수록 낮아지는 경향을 보인다. 이 이유는 대류권은 주로 지표에 의해 가열되고 냉각되는데, 지표면의 온도가 높은 저위도에서 더 높은 곳까지 가열하여 영향을 미치기 때문이다.

▼ Figure 1.22 Temperature change in the troposphere
Snow-capped mountains and snow-free lowlands are a reminder that temperatures decrease as we go higher in the troposphere.



Q) 높은 산 위에 눈이 보이는 이유를 설명하시오.

대류권에서는 평균적으로 약 $6.5^{\circ}\text{C km}^{-1}$ 의 환경감률(environmental lapse rate)을 갖는다. 따라서 높은 고산지대는 영하로 온도가 떨어질 수 있다.

라디오 존데

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



Q) 라디오 존데(radio sonde)가 측정하는 것은?

Figure 1.24 Radiosonde This lightweight package of instruments is carried aloft by a small weather balloon. It transmits data on vertical changes in temperature, pressure, and humidity in the troposphere. The troposphere is where practically all weather phenomena occur, so it is very

라디오 존데

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



Figure 1.24 Radiosonde This lightweight package of instruments is carried aloft by a small weather balloon. It transmits data on vertical changes in temperature, pressure, and humidity in the troposphere. The troposphere is where practically all weather phenomena occur, so it is very



Q) 라디오 존데(radio sonde)가 측정하는 것은?

상공의 기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속 등을 측정한다.

Q) 상층 대기를 관측하기 위해 전세계가 동시에 라디오 존데를 띠워 올린다. 그 시각은 언제인가?

라디오 존데

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



Figure 1.24 Radiosonde This lightweight package of instruments is carried aloft by a small weather balloon. It transmits data on vertical changes in temperature, pressure, and humidity in the troposphere. The troposphere is where practically all weather phenomena occur, so it is very



Q) 라디오 존데(radio sonde)가 측정하는 것은?

상공의 기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속 등을 측정한다.

Q) 상층 대기를 관측하기 위해 전세계가 동시에 라디오 존데를 띠워 올린다. 그 시각은 언제인가?

세계시로 0시(00UTC)와 12시(12UTC)에 즉 하루에 두번 동시에 띠워 올린다.

전리권

대기에 대한
포커스

과학적 탐구의
본성

시스템으로서
의 지구

대기의 구성

대기의 연직
구조



- 고도 약 80 ~ 400 km에 위치.
전기적으로 대전되어 있는 층.
- 질소 분자와 산소 원자들이 태양
에너지를 흡수하여 이온화, 전자는
자유롭게 다니게 됨.

극광(aurora)

- 1 태양 플레어 발생시 태양풍 입자들(양자,
전자 등)의 속도와 밀도가 증가.
- 2 이 입자들이 지구에 도달하여 지구 자기장에
붙잡히게 되어 자극 방향으로 흐르는데,
이온들이 원자와 분자에 전류를 흐르게 하여
빛을 발산하게 함.