

지표와 대기의 가열

제2장

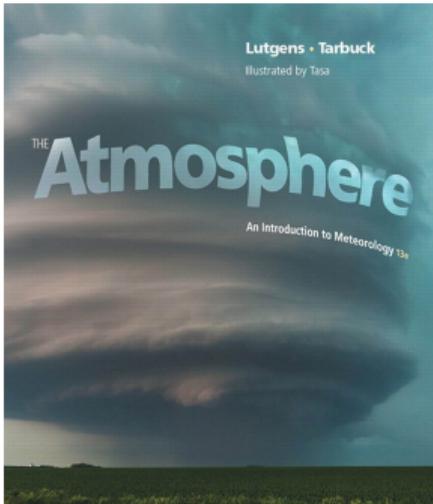
대기과학 및 실험 (2021)



박 기 현

과학영재학교 경기과학고등학교

2022년 5월 5일



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.





지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

1 지구와 태양의 관계

2 에너지 온도 그리고 열

3 열 전달의 기구

4 입사 태양 복사는 어떻게 되는가

5 대기 중 기체의 역할

6 지구의 에너지 수지

계절의 변화

지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

▼ Figure 2.1 An understanding of Earth–Sun relationships is basic to an understanding of the seasons A. Cold winter scene in Chicago, Illinois. B. Clear, warm summer day in Chicago, Illinois.

<http://goo.gl/A8D8Ay>

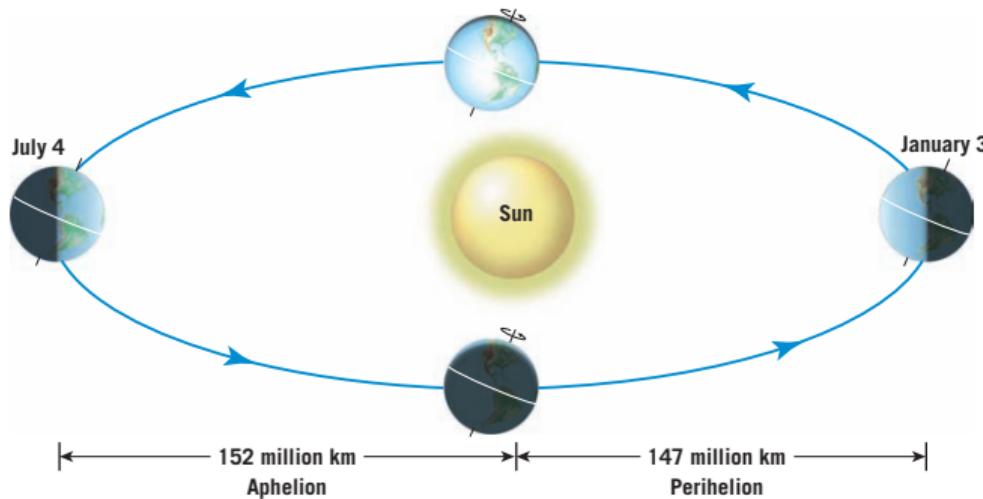


● 4계절의 아름다움



지구의 운동: 공전

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지



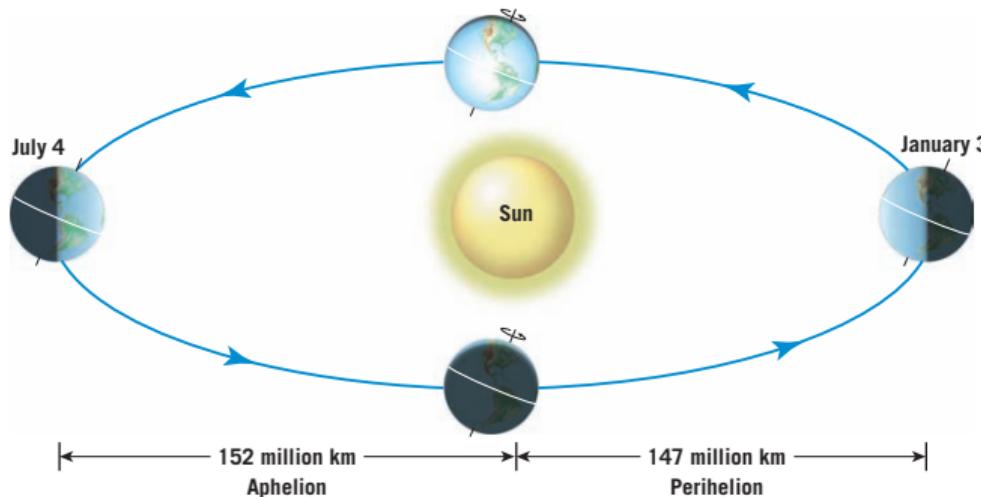
Q) 근일점과 원일점에서의 태양까지의 거리 비는 얼마인가?

▲ Figure 2.2 Earth's slightly elliptical orbit around the Sun Notice that the Earth is farthest from the Sun on July 4 (aphelion) and closest to the Sun on January 3 (perihelion).

- 지구 공전궤도의 이심률: 0.0167
- 지구 궤도 장반경 : $1.495978875 \times 10^{11}$ m

지구의 운동: 공전

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지



▲ Figure 2.2 Earth's slightly elliptical orbit around the Sun Notice that the Earth is farthest from the Sun on July 4 (aphelion) and closest to the Sun on January 3 (perihelion).

- 지구 공전궤도의 이심률: 0.0167
- 지구 궤도 장반경 : $1.495978875 \times 10^{11}$ m

Q) 근일점과 원일점에서의 태양까지의 거리 비는 얼마인가?

$$\frac{a(1+e)}{a(1-e)} = 1.034$$

Q) 북반구의 계절이 겨울일 때 지구와 태양 사이 거리는 어떤 한가?

지구의 운동: 공전

지구와 태양의 관계

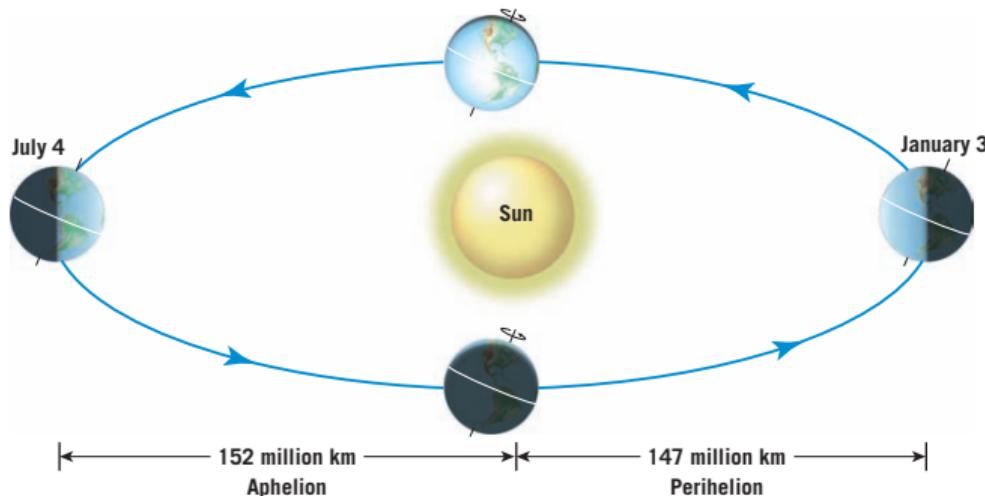
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



▲ Figure 2.2 Earth's slightly elliptical orbit around the Sun Notice that the Earth is farthest from the Sun on July 4 (aphelion) and closest to the Sun on January 3 (perihelion).

- 지구 공전궤도의 이심률: 0.0167
- 지구 궤도 장반경 : $1.495978875 \times 10^{11}$ m

Q) 근일점과 원일점에서의 태양까지의 거리 비는 얼마인가?

$$\frac{a(1+e)}{a(1-e)} = 1.034$$

Q) 북반구의 계절이 겨울일 때 지구와 태양 사이 거리는 어떤 한가?

지구는 공전궤도 이심률이 커서 근일점과 원일점의 거리차가 크지는 않지만, 1월 3일 경에 근일점 근처, 7월 4일 경에 원일점에 위치하므로, 북반구 계절이 겨울일 때 태양과 지구 사이의 거리는 좀 더 멀다.

태양의 고도 변화

지구와 태양의 관계

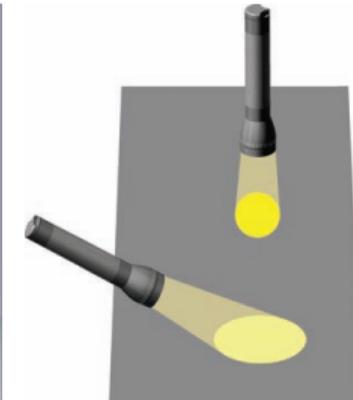
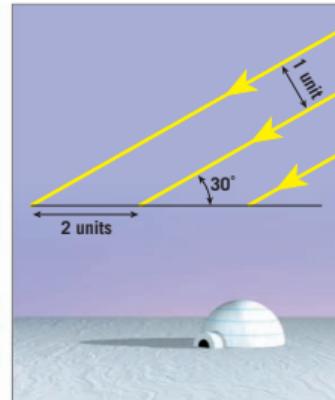
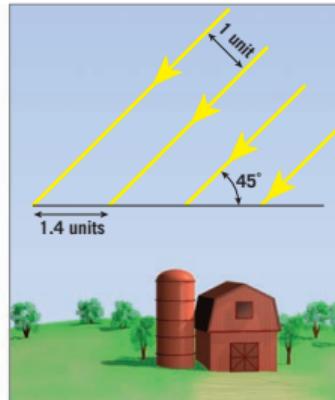
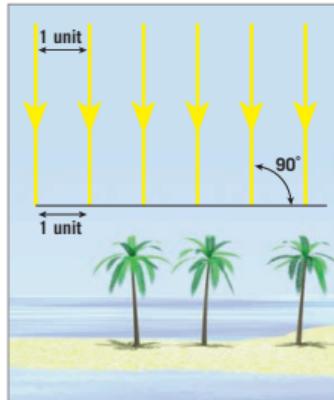
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양 복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



A.

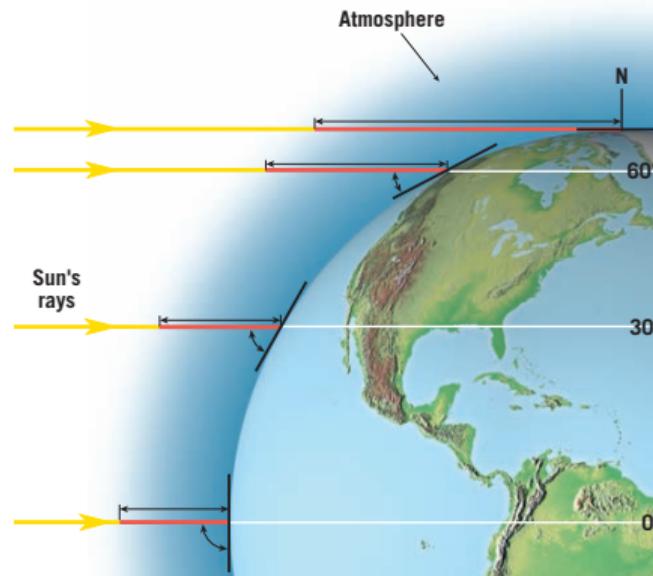
B.

▲ **Figure 2.3 Changes in the Sun's angle cause variations in the amount of solar energy that reaches Earth's surface** A. The higher the angle, the more intense the solar radiation reaching the surface. B. If a flashlight beam strikes a surface at a 90° angle, a small intense spot is produced, however if it strikes at any other angle, the area illuminated is larger—but noticeably dimmer.

- 태양에 수직일 때의 태양의 복사강도를 I_0 , 태양의 고도각이 α 일 때의 태양의 복사강도를 I_α 라 하면 $I_\alpha = I_0 \sin \alpha$ 가 된다.

위도에 따른 변화

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지



▲ Figure 2.4 The amount of atmosphere sunlight must traverse before reaching the Earth's surface affects its intensity. Rays striking Earth at a low angle (near the poles) must traverse more of the atmosphere than rays striking at a high angle (around the equator) and thus are subject to greater depletion by reflection, scattering, and absorption.

고위도로 갈수록

- 태양광선이 대기를 통과하는 두께가 두꺼워지고
- 태양의 고도가 낮아져서
- 따라서 단위 면적 당 도달하는 복사에너지가 작아진다.

자전축의 경사

지구와 태양의 관계

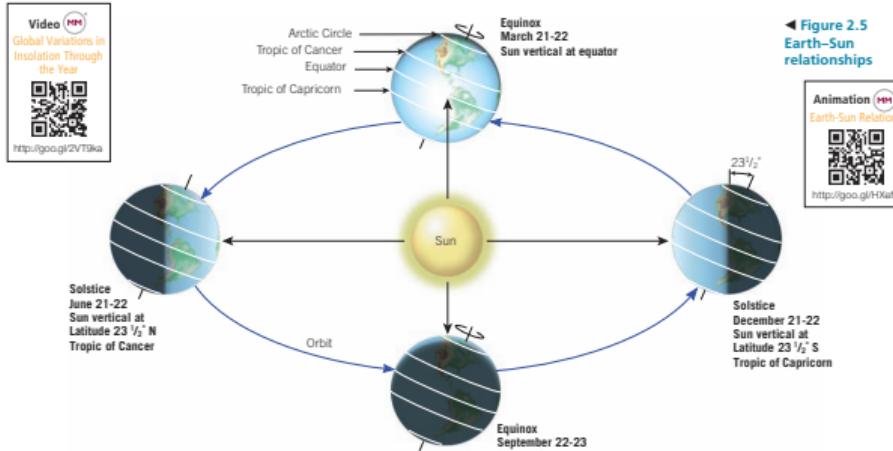
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



◀ Figure 2.5
Earth-Sun relationships

- 지구의 공전면과 지구의 자전축이 수직이 아니고, 수직면에서 23.5° 기울어짐
- 하지에는 북반구가 태양쪽으로 23.5° 기울어진 위치이며, 동지에는 태양의 반대편으로 23.5° 기울어짐.

Q) 태양의 남중고도는 어떻게 구할 수 있는가?

자전축의 경사

지구와 태양의 관계

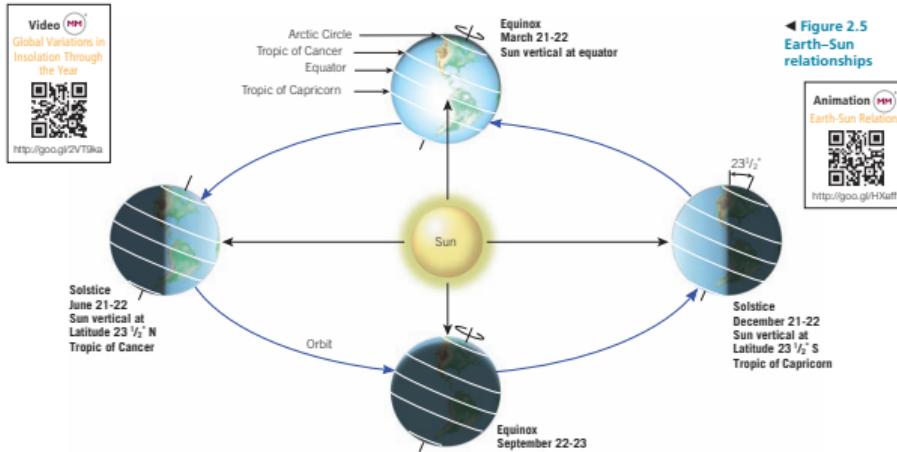
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



◀ Figure 2.5
Earth-Sun
relationships

- 지구의 공전면과 지구의 자전축이 수직이 아니고, 수직면에서 23.5° 기울어짐
- 하지에는 북반구가 태양쪽으로 23.5° 기울어진 위치이며, 동지에는 태양의 반대편으로 23.5° 기울어짐.

Q) 태양의 남중고도는 어떻게 구할 수 있는가?

$$h = 90^{\circ} - \varphi + \delta$$

(남중고도) = $(90^{\circ} - \text{위도} + \text{적위})$



지점과 분점

지구와 태양의 관계

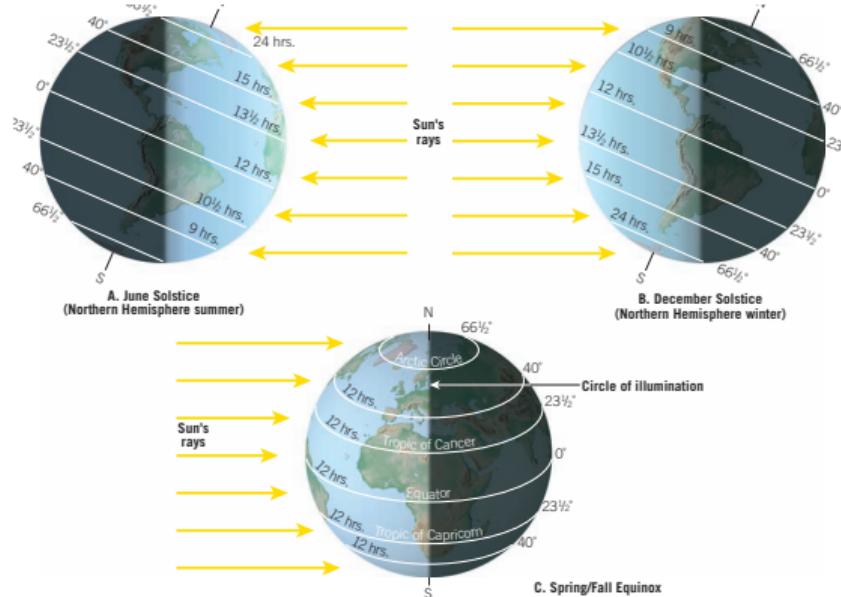
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



- 북반구의 경우, 하지 때는 낮의 길이 (밝은 부분)가 밤의 길이(어두운 부분) 보다 길고,
- 동지 때는 밤의 길이가 낮의 길이보다 길다.
- 단, 위도에 따라 낮과 밤의 길이 차이는 다르다.

Q) 계절별 온도 변화의 원인 두 가지를 고르면?



지점과 분점

지구와 태양의 관계

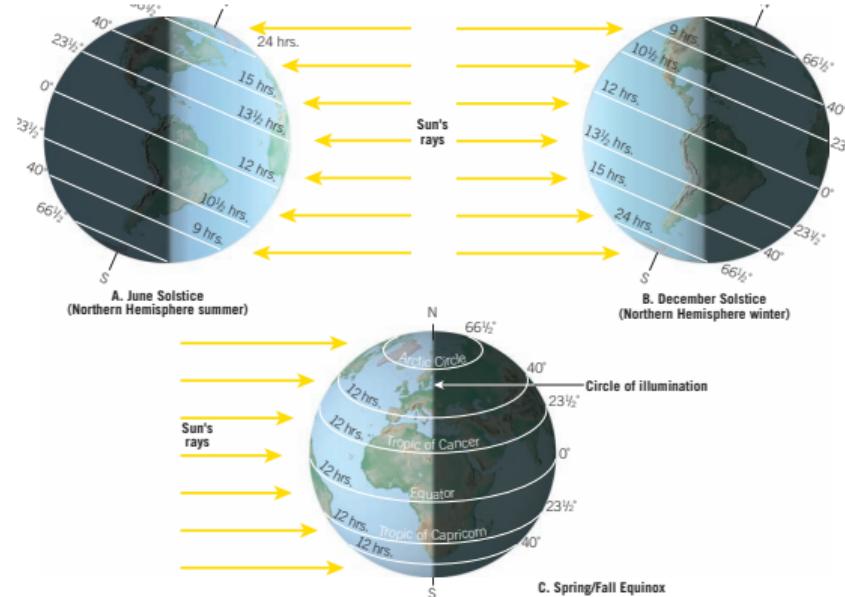
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



- 북반구의 경우, 하지 때는 낮의 길이(밝은 부분)가 밤의 길이(어두운 부분)보다 길고,
 - 동지 때는 밤의 길이가 낮의 길이보다 길다.
 - 단, 위도에 따라 낮과 밤의 길이 차이는 다르다.

Q) 계절별 온도 변화의 원인 두 가지를 고르면?

1. 계절에 따른 태양의 고도(태양각) 변화
 2. 계절에 따른 날의 길이의 변화



낮의 길이

지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

Table 2.1 | Length of Daylight

Q) 적도 지방의 낮의 길이는 어떠한가?

Latitude	Summer Solstice	Winter Solstice	Equinoxes
0°	12 hr	12 hr	12 hr
10°	12 hr 35 min	11 hr 25 min	12 hr
20°	13 hr 12 min	10 hr 48 min	12 hr
30°	13 hr 56 min	10 hr 04 min	12 hr
40°	14 hr 52 min	9 hr 08 min	12 hr
50°	16 hr 18 min	7 hr 42 min	12 hr
60°	18 hr 27 min	5 hr 33 min	12 hr
70°	2 mo	0 hr 00 min	12 hr
80°	4 mo	0 hr 00 min	12 hr
90°	6 mo	0 hr 00 min	12 hr



낮의 길이

Table 2.1 | Length of Daylight

Latitude	Summer Solstice	Winter Solstice	Equinoxes
0°	12 hr	12 hr	12 hr
10°	12 hr 35 min	11 hr 25 min	12 hr
20°	13 hr 12 min	10 hr 48 min	12 hr
30°	13 hr 56 min	10 hr 04 min	12 hr
40°	14 hr 52 min	9 hr 08 min	12 hr
50°	16 hr 18 min	7 hr 42 min	12 hr
60°	18 hr 27 min	5 hr 33 min	12 hr
70°	2 mo	0 hr 00 min	12 hr
80°	4 mo	0 hr 00 min	12 hr
90°	6 mo	0 hr 00 min	12 hr

Q) 적도 지방의 낮의 길이는 어떠한가?

적도에서는 연중, 낮과 밤의 길이가 같다.

Q) 고위도 지방의 낮의 길이는 어떠한가?

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



낮의 길이

Table 2.1 | Length of Daylight

Latitude	Summer Solstice	Winter Solstice	Equinoxes
0°	12 hr	12 hr	12 hr
10°	12 hr 35 min	11 hr 25 min	12 hr
20°	13 hr 12 min	10 hr 48 min	12 hr
30°	13 hr 56 min	10 hr 04 min	12 hr
40°	14 hr 52 min	9 hr 08 min	12 hr
50°	16 hr 18 min	7 hr 42 min	12 hr
60°	18 hr 27 min	5 hr 33 min	12 hr
70°	2 mo	0 hr 00 min	12 hr
80°	4 mo	0 hr 00 min	12 hr
90°	6 mo	0 hr 00 min	12 hr

Q) 적도 지방의 낮의 길이는 어떠한가?

적도에서는 연중, 낮과 밤의 길이가 같다.

Q) 고위도 지방의 낮의 길이는 어떠한가?

위도 70° 이상인 지역에서는 해가 지지 않는 날이 있을 수 있으며, 북극, 남극에서는 6개월 동안 해가 지지 않는다.

Q) 춘분, 추분날 낮과 밤의 길이는 어떠한가?



낮의 길이

Table 2.1 | Length of Daylight

Latitude	Summer Solstice	Winter Solstice	Equinoxes
0°	12 hr	12 hr	12 hr
10°	12 hr 35 min	11 hr 25 min	12 hr
20°	13 hr 12 min	10 hr 48 min	12 hr
30°	13 hr 56 min	10 hr 04 min	12 hr
40°	14 hr 52 min	9 hr 08 min	12 hr
50°	16 hr 18 min	7 hr 42 min	12 hr
60°	18 hr 27 min	5 hr 33 min	12 hr
70°	2 mo	0 hr 00 min	12 hr
80°	4 mo	0 hr 00 min	12 hr
90°	6 mo	0 hr 00 min	12 hr

Q) 적도 지방의 낮의 길이는 어떠한가?

적도에서는 연중, 낮과 밤의 길이가 같다.

Q) 고위도 지방의 낮의 길이는 어떠한가?

위도 70° 이상인 지역에서는 해가 지지 않는 날이 있을 수 있으며, 북극, 남극에서는 6개월 동안 해가 지지 않는다.

Q) 춘분, 추분날 낮과 밤의 길이는 어떠한가?

극을 제외한 지구 상 어느 곳에서나 낮과 밤의 길이가 같다.

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양 복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

하루 동안 태양의 경로

지구와 태양의 관계

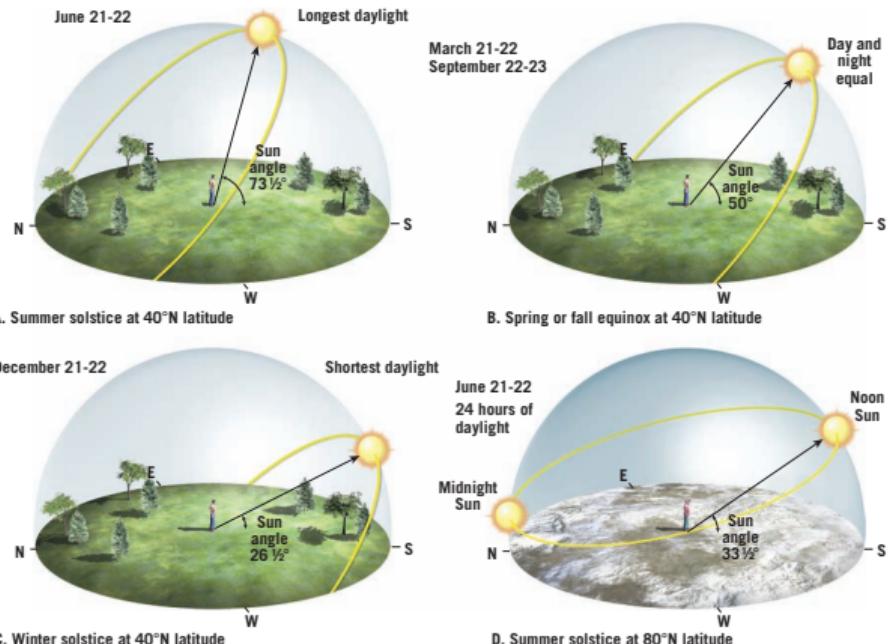
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



Q) 서울의 위도를 37.5°N 라고 생각 할 때, 하지날과 동지날 낮의 길이를 각각 구하시오. (단, 하지날 태양의 적위는 $+23.5^{\circ}$ 이다.)

하루 동안 태양의 경로

지구와 태양의 관계

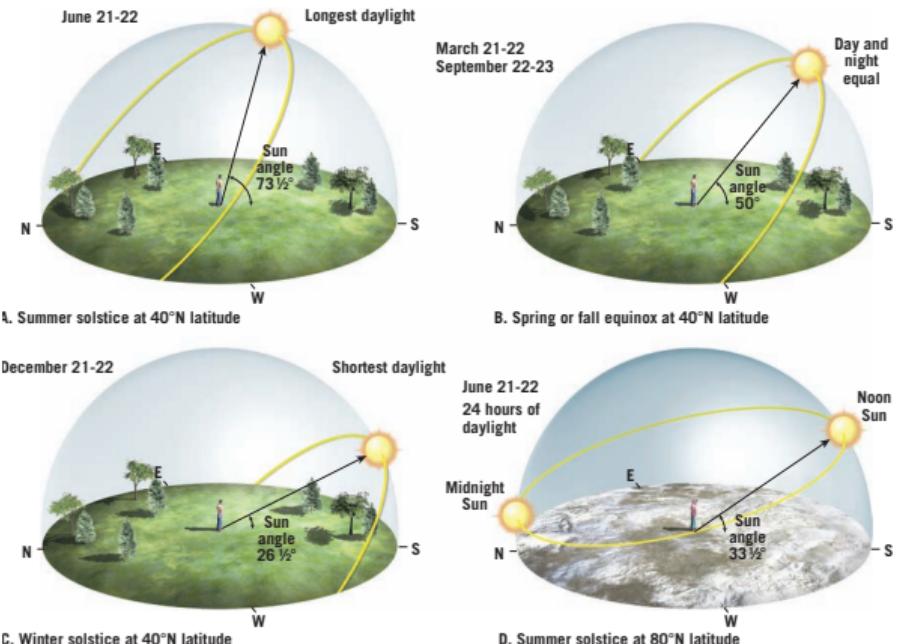
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



Q) 서울의 위도를 37.5°N 라고 생각 할 때, 하지날과 동지날 낮의 길이를 각각 구하시오. (단, 하지날 태양의 적위는 $+23.5^{\circ}$ 이다.)

적위 δ , 고도 h , 위도 φ , 시간각 H 라고 두면,

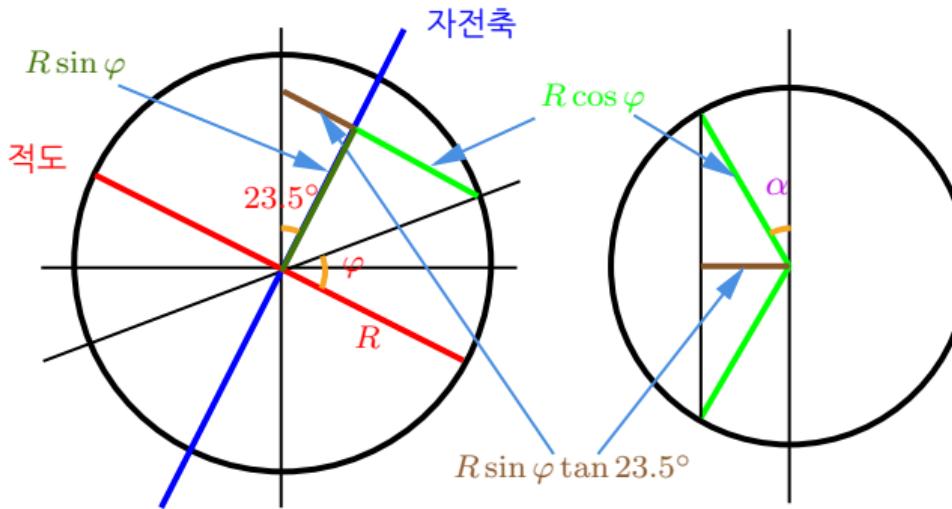
$\sin h = \cos H \cos \varphi \cos \delta + \sin \varphi \sin \delta$ 를 이용해 보자. 해가 뜰 때의 고도 h 는 0° 이므로

$$\cos H = -\tan \delta \tan \varphi$$

1) 하지날의 시간각 $H = 109.4901^{\circ} = 7^{\text{h}} 17^{\text{m}} 58^{\text{s}}$ 이므로, 낮의 길이는 시간각의 두 배로 $14^{\text{h}} 35^{\text{m}} 56^{\text{s}}$ 이다.

2) 동지날의 시간각 $H = 70.5099^{\circ} = 4^{\text{h}} 42^{\text{m}} 2^{\text{s}}$ 이므로, 낮의 길이는 시간각의 두 배로 $9^{\text{h}} 24^{\text{m}} 4^{\text{s}}$ 이다.

낮의 길이



Q) 위도가 40°N 인 지역에서 하짓날 낮의 길이를 구하시오.

하짓날 태양의 적위는 $+23.5^{\circ}$ 이므로 위도를 φ 라고 하면,

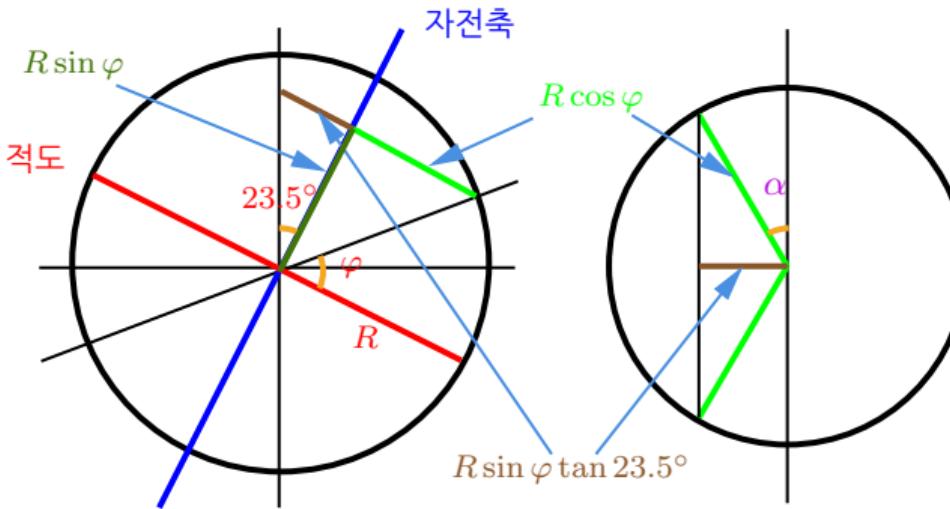
$$R \sin \varphi \tan 23.5^{\circ} = R \cos \varphi \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \tan \varphi \tan 23.5^{\circ}$$

$$\alpha = \sin^{-1} (\tan \varphi \tan 23.5^{\circ})$$

낮의 길이

지구와 태양의 관계
 에너지 온도 그리고 열
 열 전달의 기구
 입사 태양 복사는 어떻게 되는가
 대기 중 기체의 역할
 지구의 에너지 수지



하짓날 태양의 적위는 $+23.5^\circ$ 이므로 위도를 φ 라고 하면,

$$R \sin \varphi \tan 23.5^\circ = R \cos \varphi \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \tan \varphi \tan 23.5^\circ$$

$$\alpha = \sin^{-1} (\tan \varphi \tan 23.5^\circ)$$

Q) 위도가 40°N 인 지역에서 하짓날 낮의 길이를 구하시오.
 12시간에다가 2α 만큼 자전하는 시간을 더하면 된다.

$$\begin{aligned}\alpha &= \sin^{-1} (\tan 40^\circ \tan 23.5^\circ) \\ &= 21.398^\circ \\ 2\alpha &= 42.796^\circ\end{aligned}$$

이므로 12^h 에 $2^h 51^m 11^s$ 를 더하여 $14^h 51^m 11^s$ 이다.



심야 태양

지구와 태양의 관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



▲ Figure 2.7 Midnight Sun Multiple exposures, (taken on the same day) of the midnight Sun representative of midsummer in the high latitudes. This example shows the midnight Sun in Norway.

Q) 북극에서는 태양이 춘분부터 추분까지 6개월간 계속해서 비추지만, 온도는 결코 그리 따뜻해 지지 않는다. 그 이유를 설명하시오.

심야 태양

지구와 태양의 관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



▲ **Figure 2.7 Midnight Sun** Multiple exposures, (taken on the same day) of the midnight Sun representative of midsummer in the high latitudes.
This example shows the midnight Sun in Norway.

Q) 북극에서는 태양이 춘분부터 추분까지 6개월간 계속해서 비추지만, 온도는 결코 그리 따뜻해 지지 않는다. 그 이유를 설명하시오.

햇빛이 통과하는 대기층의 두께가 두껍고, 태양의 고도가 낮아 단위면적당 입사하는 복사에너지의 양이 적기 때문이다.

지점과 분점

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

Characteristics of the Solstices and Equinoxes for the Northern Hemisphere

Characteristics	Summer Solstice	Winter Solstice	Equinoxes
Date of Occurrence	June 21-22	December 21-22	Spring: March 21-22 Fall: September 22-23
Vertical Rays of the Sun	Tropic of Cancer ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ N)	Tropic of Capricorn ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ S)	Equator
Length of daylight	Longest Period of Daylight	Shortest Period of Daylight	Equal Days and Nights
Angle of Noon Sun	At its highest point above horizon	At its lowest point above horizon	At an intermediate position above horizon

Q) 아래 사진은 2008년 남극에서의 첫 해돋이를 보여주는 사진으로 미국의 아문센-스코트 기지에서 촬영한 것이다. 이 사진이 찍힌 대략의 날짜는 언제인가?



지점과 분점

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

Characteristics of the Solstices and Equinoxes for the Northern Hemisphere

Characteristics	Summer Solstice	Winter Solstice	Equinoxes
Date of Occurrence	June 21-22	December 21-22	Spring: March 21-22 Fall: September 22-23
Vertical Rays of the Sun	Tropic of Cancer ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ N)	Tropic of Capricorn ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ S)	Equator
Length of daylight	Longest Period of Daylight	Shortest Period of Daylight	Equal Days and Nights
Angle of Noon Sun	At its highest point above horizon	At its lowest point above horizon	At an intermediate position above horizon



Q) 아래 사진은 2008년 남극에서의 첫 해돋이를 보여주는 사진으로 미국의 아문센-스코트 기지에서 촬영한 것이다. 이 사진이 찍힌 대략의 날짜는 언제인가?

9월22일 경 추분 무렵이다.

Q) 남극에서 사진을 찍은 후로 해가 질때까지 얼마나 걸렸을까?

지점과 분점

지구와 태양의 관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

Characteristics of the Solstices and Equinoxes
for the Northern Hemisphere

Characteristics	Summer Solstice	Winter Solstice	Equinoxes
Date of Occurrence	June 21-22	December 21-22	Spring: March 21-22 Fall: September 22-23
Vertical Rays of the Sun	Tropic of Cancer ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ N)	Tropic of Capricorn ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ S)	Equator
Length of daylight	Longest Period of Daylight	Shortest Period of Daylight	Equal Days and Nights
Angle of Noon Sun	At its highest point above horizon	At its lowest point above horizon	At an intermediate position above horizon



Q) 아래 사진은 2008년 남극에서의 첫 해돋이를 보여주는 사진으로 미국의 아문센-스코트 기지에서 촬영한 것이다. 이 사진이 찍힌 대략의 날짜는 언제인가?

9월22일 경 추분 무렵이다.

Q) 남극에서 사진을 찍은 후로 해가 질때까지 얼마나 걸렸을까?

6개월 걸렸을 것이다.

Q) 1년을 통틀어, 남극에서 태양이 도달할 수 있는 가장 높은 고도는 몇도인가?

지점과 분점

지구와 태양의 관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

Characteristics of the Solstices and Equinoxes for the Northern Hemisphere

Characteristics	Summer Solstice	Winter Solstice	Equinoxes
Date of Occurrence	June 21-22	December 21-22	Spring: March 21-22 Fall: September 22-23
Vertical Rays of the Sun	Tropic of Cancer ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ N)	Tropic of Capricorn ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ S)	Equator
Length of daylight	Longest Period of Daylight	Shortest Period of Daylight	Equal Days and Nights
Angle of Noon Sun	At its highest point above horizon	At its lowest point above horizon	At an intermediate position above horizon



Q) 아래 사진은 2008년 남극에서의 첫 해돋이를 보여주는 사진으로 미국의 아문센-스코트 기지에서 촬영한 것이다. 이 사진이 찍힌 대략의 날짜는 언제인가?

9월22일 경 추분 무렵이다.

Q) 남극에서 사진을 찍은 후로 해가 질때까지 얼마나 걸렸을까?

6개월 걸렸을 것이다.

Q) 1년을 통틀어, 남극에서 태양이 도달할 수 있는 가장 높은 고도는 몇도인가?

23.5° .

계절은 언제인가?

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

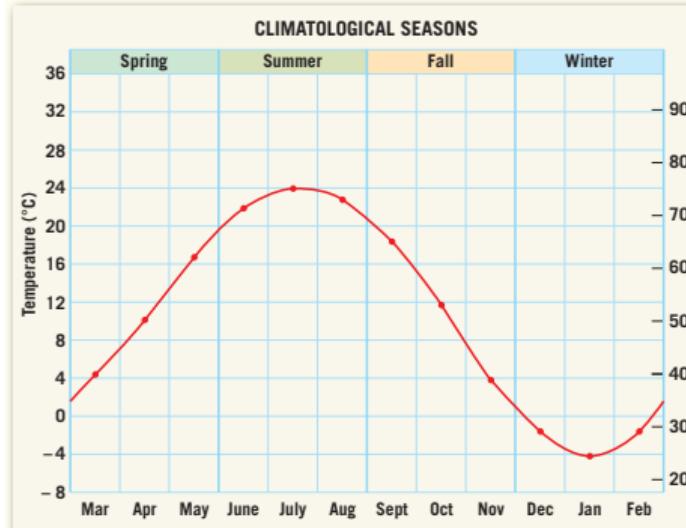
대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

Table 2.A Occurrence of the Seasons in the Northern Hemisphere

Season	Astronomical Season	Climatological Season
Spring	March 21 or 22 to June 21 or 22	March, April, May
Summer	June 21 or 22 to September 22 or 23	June, July, August
Autumn	September 22 or 23 to December 21 or 22	September, October, November
Winter	December 21 or 22 to March 21 or 22	December, January, February

- 천문학적 계절은 태양의 적위를 기준
- 기후학적 계절은 기온을 기준



▲ Figure 2.B Mean monthly temperatures for a midlatitude city in the central United States Notice how well the 3 warmest and 3 coldest months align with the occurrence of summer and winter seasons, respectively. The astronomical seasons began about 21 days after the climatological seasons. As a result, under the astronomical seasons, winter-like conditions can occur long before the designated “first day of winter.”



지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

1 지구와 태양의 관계

2 에너지 온도 그리고 열

3 열 전달의 기구

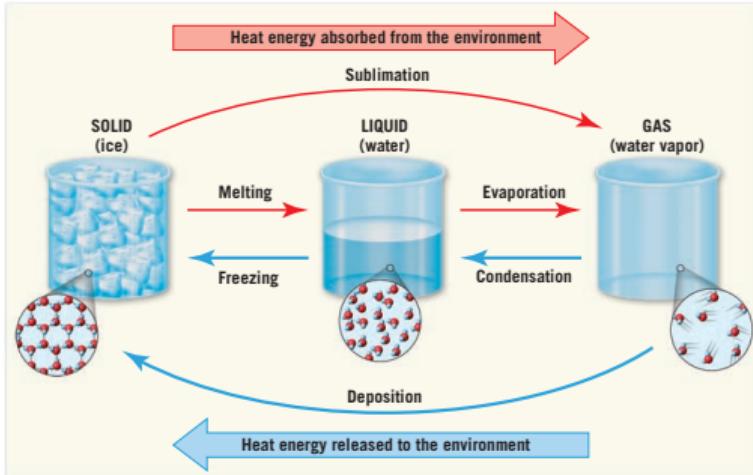
4 입사 태양 복사는 어떻게 되는가

5 대기 중 기체의 역할

6 지구의 에너지 수지

상변화와 잠열

▼ Figure 2.10 Latent heat is either absorbed or released by each of these phase changes



- **잠열(latent heat):** 상변화 과정을 거칠 때 방출되거나 흡수되는 열
- **현열(sensible heat):** 우리가 느낄 수 있는 열, 상변화에 관여하지 않으며, 온도계로 측정

Q) 에너지, 온도, 열을 정의하시오.

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

상변화와 잠열

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

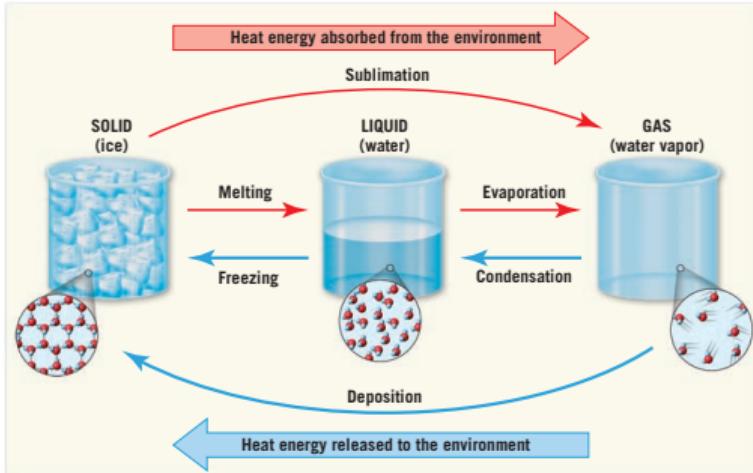
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

▼ Figure 2.10 Latent heat is either absorbed or released by each of these phase changes



- 잠열(latent heat): 상변화 과정을 거칠 때 방출되거나 흡수되는 열

- 현열(sensible heat): 우리가 느낄 수 있는 열, 상변화에 관여하지 않으며, 온도계로 측정

Q) 에너지, 온도, 열을 정의하시오.

에너지: 일을 할 수 있는 능력

온도: 물체를 구성하는 원자나 분자의 평균 운동

에너지의 척도

열: 온도가 다른 두 물체 사이의 에너지 흐름 (고온에서 저온)

Q) 물의 융해열, 기화열은 각각 얼마인가?

상변화와 잠열

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

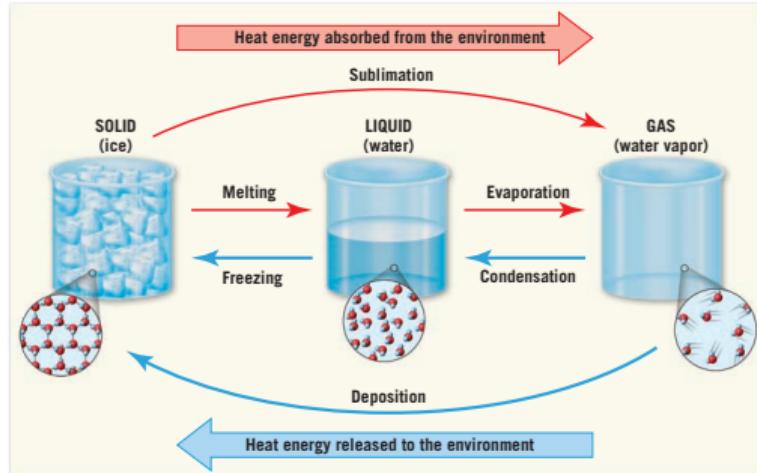
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

▼ Figure 2.10 Latent heat is either absorbed or released by each of these phase changes



- **잠열(latent heat):** 상변화 과정을 거칠 때 방출되거나 흡수되는 열
- **현열(sensible heat):** 우리가 느낄 수 있는 열, 상변화에 관여하지 않으며, 온도계로 측정

Q) 에너지, 온도, 열을 정의하시오.

에너지: 일을 할 수 있는 능력

온도: 물체를 구성하는 원자나 분자의 평균 운동

에너지의 척도

열: 온도가 다른 두 물체 사이의 에너지 흐름 (고온에서 저온)

Q) 물의 융해열, 기화열은 각각 얼마인가?

80 cal g⁻¹, 539 cal g⁻¹



지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

1 지구와 태양의 관계

2 에너지 온도 그리고 열

3 열 전달의 기구

4 입사 태양 복사는 어떻게 되는가

5 대기 중 기체의 역할

6 지구의 에너지 수지

전도

지구와 태양의
관계

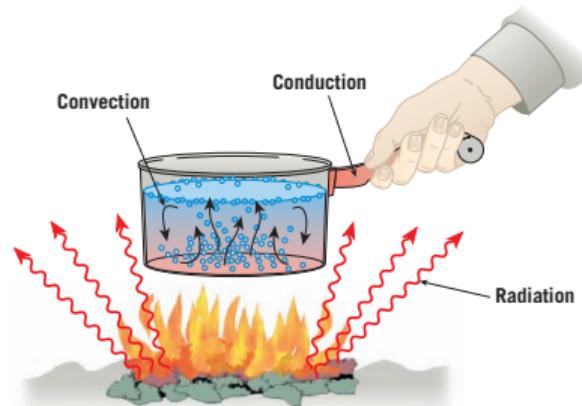
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



▲ SmartFigure 2.11 Three mechanisms of heat transfer: conduction, convection, and radiation

<http://goo.gl/7sSdC>

- 분자운동에 의해 물질 간에 열이 이동하는 것
ex) 지구 내부 내핵
- 전도는 고체 물질 간에 열을 효과적으로 전달하는 방법이므로, 대기에서는 열을 거의 전달하지 못함
- 전도는 지표와 맞닿아 있는 공기 사이에서만 중요한 역할을 하므로 대부분의 기상 현상을 고려할 때 무시할 수 있음.

Q) 열 전달의 세 가지 방법은 무엇인가?

전도

지구와 태양의
관계

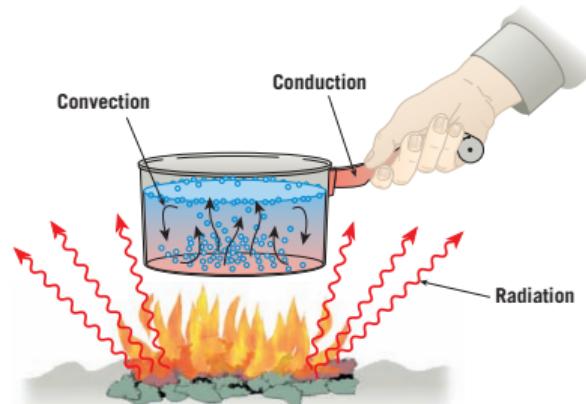
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



<http://goo.gl/7sSdC>

▲ SmartFigure 2.11 Three mechanisms of heat transfer: conduction, convection, and radiation

- 분자운동에 의해 물질 간에 열이 이동하는 것
ex) 지구 내부 내핵
- 전도는 고체 물질 간에 열을 효과적으로 전달하는 방법이므로, 대기에서는 열을 거의 전달하지 못함
- 전도는 지표와 맞닿아 있는 공기 사이에서만 중요한 역할을 하므로 대부분의 기상 현상을 고려할 때 무시할 수 있음.

Q) 열 전달의 세 가지 방법은 무엇인가?
전도, 대류, 복사

Q) 같은 온도임에도 불구하고 추운 날 아침 화장실의 타일 바닥이 침실의 카펫보다 더 차갑게 느껴지는 이유는 무엇인가?

전도

지구와 태양의 관계

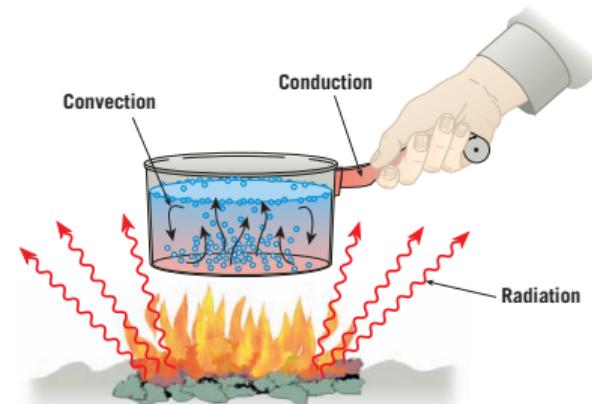
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



http://goo.gl/7sSdC

▲ SmartFigure 2.11 Three mechanisms of heat transfer: conduction, convection, and radiation

- 분자운동에 의해 물질 간에 열이 이동하는 것
ex) 지구 내부 내핵
- 전도는 고체 물질 간에 열을 효과적으로 전달하는 방법이므로, 대기에서는 열을 거의 전달하지 못함
- 전도는 지표와 맞닿아 있는 공기 사이에서만 중요한 역할을 하므로 대부분의 기상 현상을 고려할 때 무시할 수 있음.

Q) 열 전달의 세 가지 방법은 무엇인가?
전도, 대류, 복사

Q) 같은 온도 임에도 불구하고 추운 날 아침 화장실의 타일 바닥이 침실의 카펫보다 더 차갑게 느껴지는 이유는 무엇인가?

타일이 카펫보다 더 좋은 전도체이기 때문이다. 체온이 36.5°C 이기 때문에 실내 온도가 20°C 일 때에도 좋은 전도체인 물체를 만지면 차갑게 느껴진다.

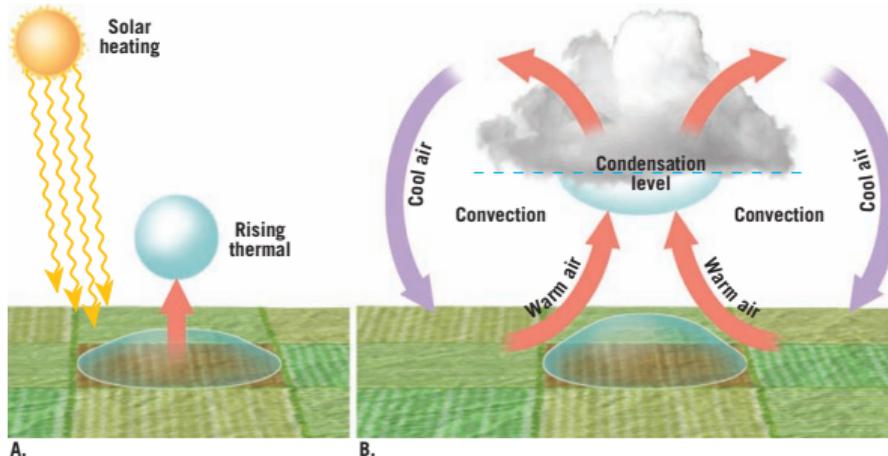
대류

지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



▲ **Figure 2.12 Rising warmer air and descending cooler air are examples of convective circulation** **A.** Heating of Earth's surface produces thermals of rising air that transport heat and moisture aloft. **B.** The rising air cools, and if it reaches the condensation level, clouds form.

- 물체의 실제 운동 혹은 순환에 의한 열전달. 유체들에서 발생. ex) 맷틀, 대기
- 가열받아 밀도가 낮은 공기가 위로 뜨면서 상공의 차가운 공기가 이를 대신하여 대류 흐름 발달 수증기를 상층으로 수송(열 전달)

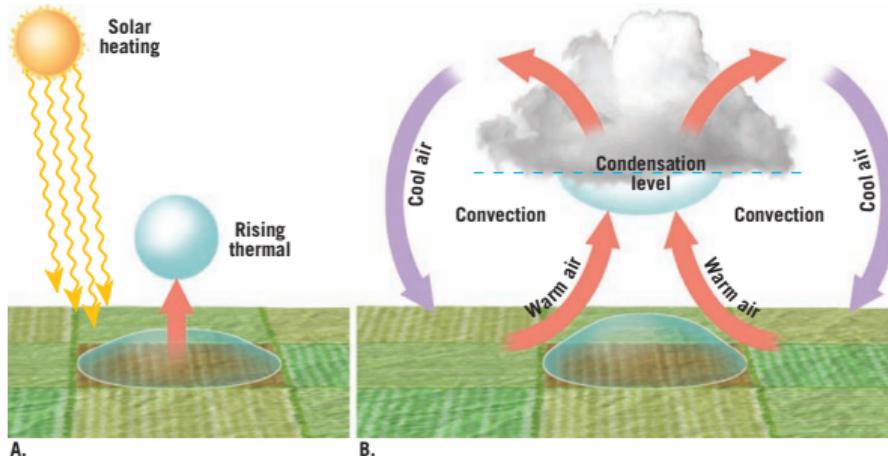
Q) 이류와 대류의 차이는 무엇인가?

대류

지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가
대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



▲ Figure 2.12 Rising warmer air and descending cooler air are examples of convective circulation **A.** Heating of Earth's surface produces thermals of rising air that transport heat and moisture aloft. **B.** The rising air cools, and if it reaches the condensation level, clouds form.

- 물체의 실제 운동 혹은 순환에 의한 열전달. 유체들에서 발생. ex) 맷돌, 대기

- 가열받아 밀도가 낮은 공기가 위로 뜨면서 상공의 차가운 공기가 이를 대신하여 대류 흐름 발달 수증기를 상층으로 수송(열 전달)

Q) 이류와 대류의 차이는 무엇인가?

이류는 공기의 수평 방향의 이동, 대류는 연직 방향의 이동을 말함.



복사

지구와 태양의 관계

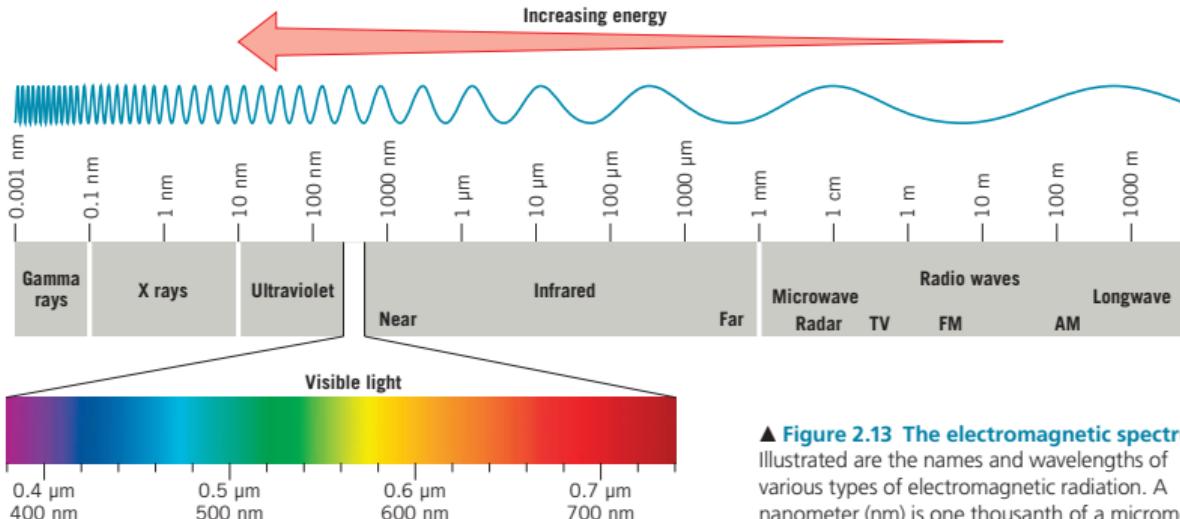
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

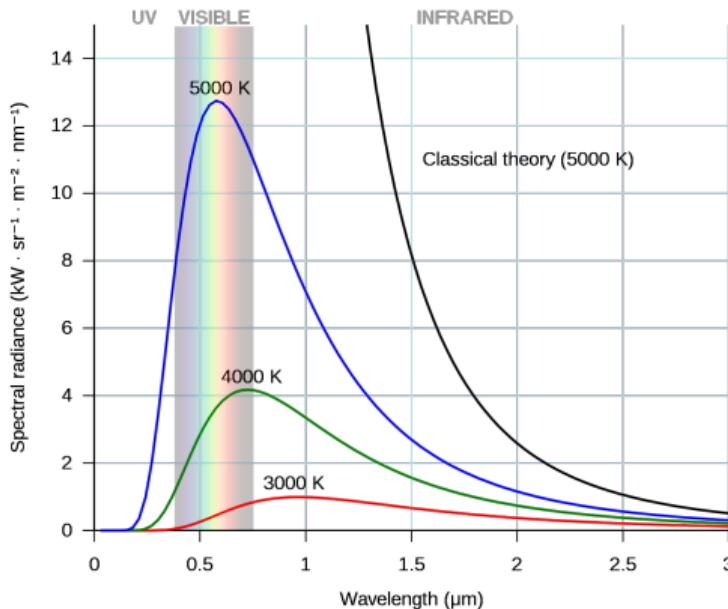


▲ Figure 2.13 The electromagnetic spectrum
Illustrated are the names and wavelengths of various types of electromagnetic radiation. A nanometer (nm) is one thousandth of a micrometer.

- 모든 종류의 복사는 빛의 속도로 이동하며, 파장에 따라 다양한 전자기 파로 구분

흑체 복사의 기본 법칙

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양
복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지



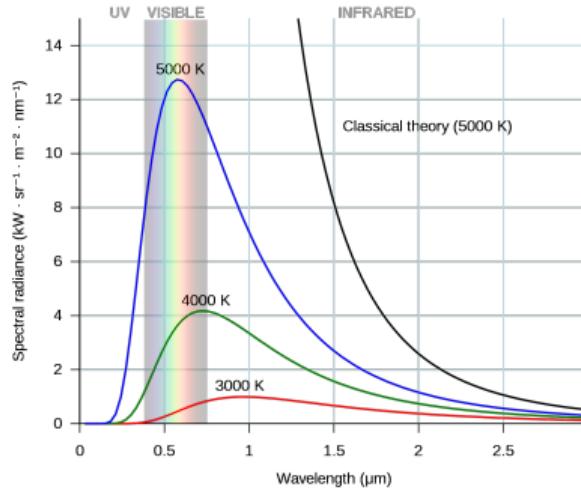
- Kirchhoff's law: 주어진 온도와 파장에서 방출과 흡수의 열역학적 관계
- 복사 에너지를 잘 흡수하는 물체가 복사 에너지를 잘 방출한다.
- Planck's law: 온도에 따른 흑체 복사의 강도 분포를 설명 - 모든 물체는 항상 다양한 파장의 복사 에너지를 방출한다.

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

$$I'(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

흑체 복사의 기본 법칙

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양
복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지



- Stefan-Boltzmann's law: 방출에너지의 시간변화율과 절대온도와의 관계
 - 물체의 온도가 높을수록 단위 면적당 더 많은 에너지를 방출한다.

$$E = \sigma T^4$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5.670400 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

- Wien's displacement law: 방출하는 최대 강도의 파장과 절대온도와의 관계
 - 물체의 온도가 높을수록 최대 복사의 파장은 짧아진다.

$$\lambda_{\max} \cdot T = C$$

$$C = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

태양 복사와 지구 복사

지구와 태양의
관계

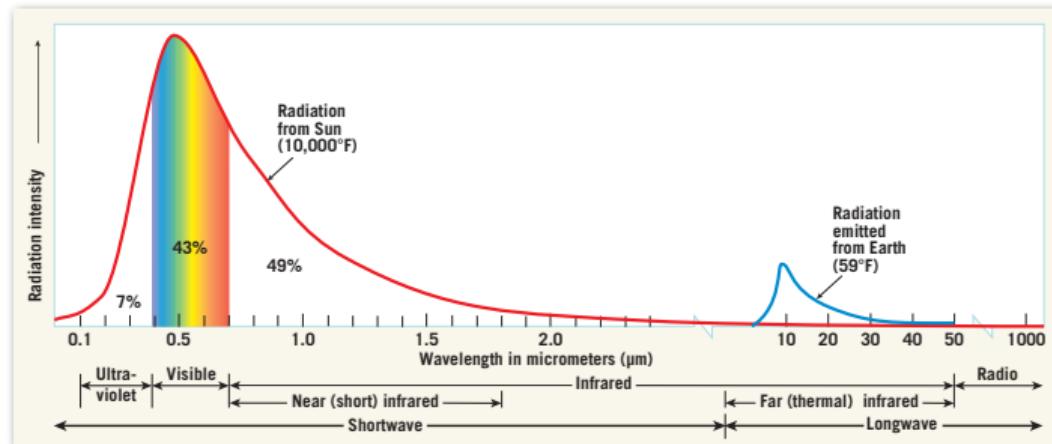
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



▲ Figure 2.14 Comparison of the intensity of solar radiation and radiation emitted by Earth Because of the Sun's high surface temperature, most of its energy is radiated at energetic wavelengths shorter than 2.5 micrometers (μm). The greatest intensity of solar radiation is in the visible range of the electromagnetic spectrum. Earth, in contrast, radiates most of its energy in wavelengths longer than 2.5 micrometers, primarily in the far end (less-energetic) of the infrared band. Thus, we call the Sun's radiation *shortwave* and Earth's radiation *longwave*.

Q) 태양 복사와 지구 복사에서 자외선, 가시광선, 적외선 복사의 비중은 각각 어느 정도인가?

태양 복사와 지구 복사

지구와 태양의
관계

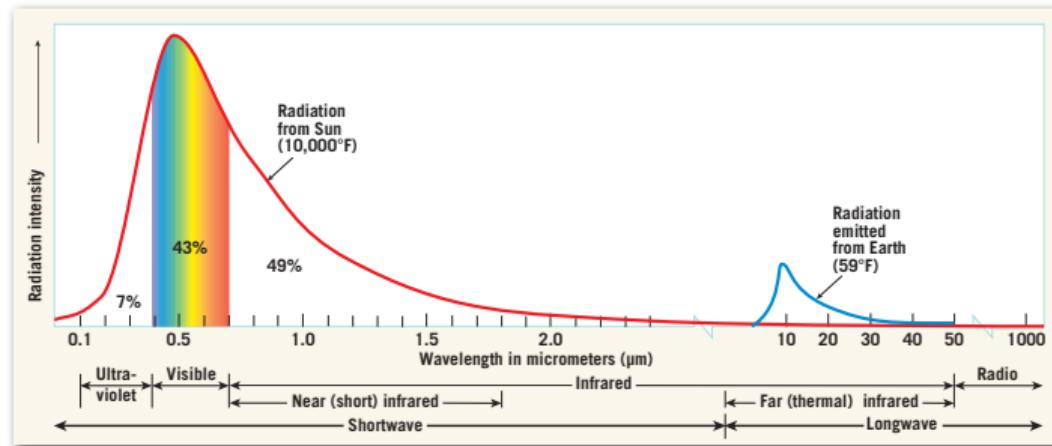
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



▲ Figure 2.14 Comparison of the intensity of solar radiation and radiation emitted by Earth Because of the Sun's high surface temperature, most of its energy is radiated at energetic wavelengths shorter than 2.5 micrometers (μm). The greatest intensity of solar radiation is in the visible range of the electromagnetic spectrum. Earth, in contrast, radiates most of its energy in wavelengths longer than 2.5 micrometers, primarily in the far end (less-energetic) of the infrared band. Thus, we call the Sun's radiation *shortwave* and Earth's radiation *longwave*.

Q) 태양 복사와 지구 복사에서 자외선, 가시광선, 적외선 복사의 비중은 각각 어느 정도인가?
 태양 복사: 7%, 43%, 49% 지구 복사: 100%

자외선과 오존층

지구와 태양의
관계

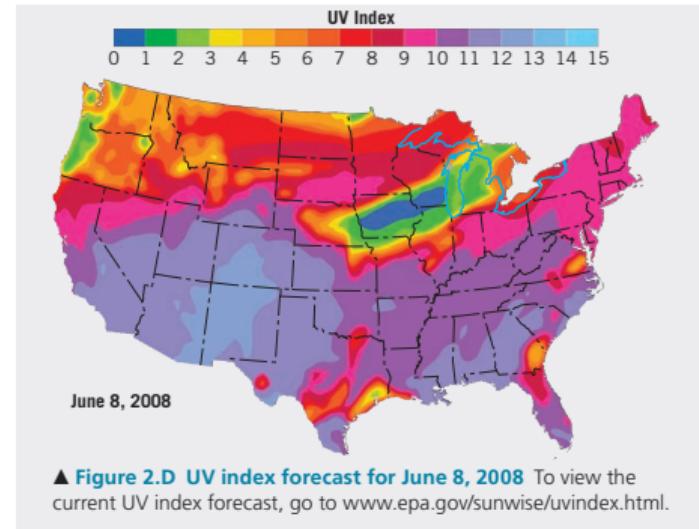
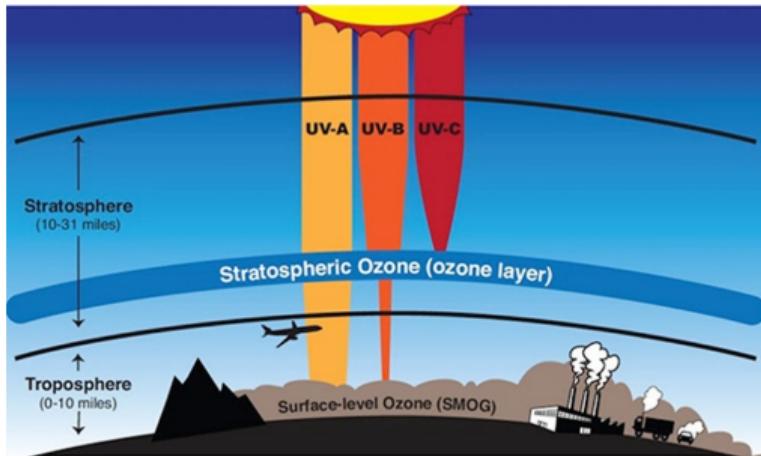
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



▲ Figure 2.D UV index forecast for June 8, 2008 To view the current UV index forecast, go to www.epa.gov/sunwise/uvindex.html.

- 자외선은 UVA(320 ~ 400 nm), UVB(290 ~ 320 nm), UVC(200 ~ 290 nm)로 나뉨
- UVC는 지구의 표면에 도달하기 전 오존층에서 차단되고, UVA는 1년 내내 노출량이 같고, UVB는 여름에 특히 많아짐.

자외선 지수

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



▲ Figure 2.C Exposing sensitive skin to too much solar ultraviolet radiation has potential health risks

- 과도한 자외선은 피부암, 백내장 등을 일으킴

Table 2.B | The UV Index: Minutes to Burn for the Most Susceptible Skin Type

UV Index Value	Exposure Category	Description	Minutes to Burn
0–2	Low	Low danger from the Sun's UV rays for the average person.	> 60
3–5	Moderate	Moderate risk from unprotected Sun exposure. Take precautions during the midday, when Sun is strongest.	40–60
6–7	High	Protection against sunburn is needed. Cover up, wear a hat and sunglasses, and use sunscreen.	25–40
8–10	Very High	Try to avoid the Sun between 11 A.M. and 4 P.M. Otherwise, cover up and use sunscreen.	10–25
11 +	Extreme	Take all precautions. Unprotected skin will burn in minutes. Do not pursue outdoor activities if possible. If outdoors, apply sunscreen liberally every 2 hours.	< 10



지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

1 지구와 태양의 관계

2 에너지 온도 그리고 열

3 열 전달의 기구

4 입사 태양 복사는 어떻게 되는가

5 대기 중 기체의 역할

6 지구의 에너지 수지

태양 복사 에너지의 분포

지구와 태양의 관계

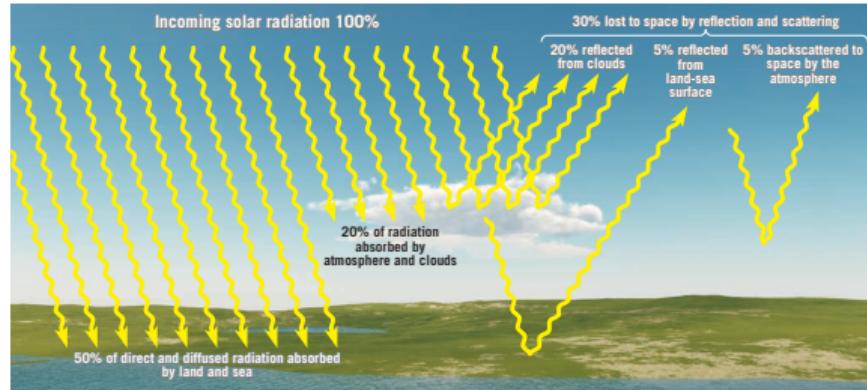
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



▲ SmartFigure 2.15 Average distribution of incoming solar radiation More solar energy is absorbed by Earth's surface than by the atmosphere.



<http://www.ncl.ac.kr/~77>

Q) 입사한 태양복사가 대기에 도달하면 어떤 일이 발생할 수 있는가?

태양 복사 에너지의 분포

지구와 태양의 관계

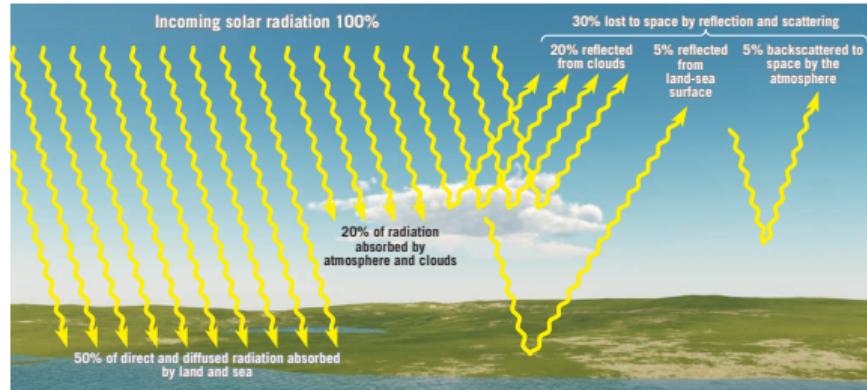
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



▲ SmartFigure 2.15 Average distribution of incoming solar radiation More solar energy is absorbed by Earth's surface than by the atmosphere.



<http://www.nu.nu/186-77>

Q) 입사한 태양복사가 대기에도 달하면 어떤 일이 발생할 수 있는가?

투과 or 흡수 or 반사/산란 하게 된다.

Q) 입사한 태양복사의 평균적인 지표, 대기, 구름에서의 분포를 설명하시오

태양 복사 에너지의 분포

지구와 태양의 관계

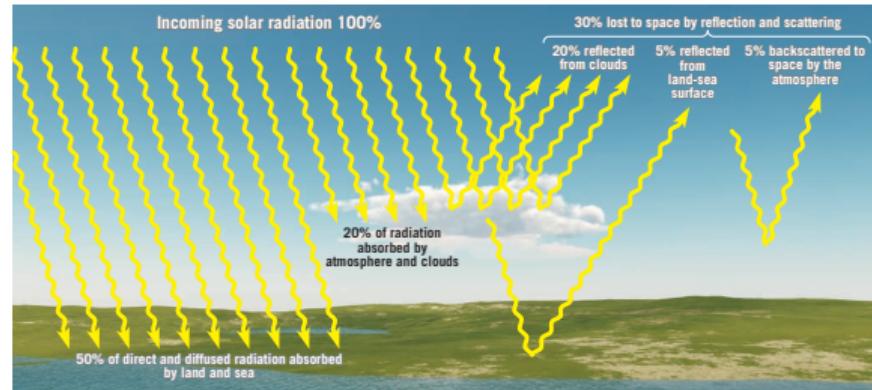
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



▲ SmartFigure 2.15 Average distribution of incoming solar radiation More solar energy is absorbed by Earth's surface than by the atmosphere.



<http://www.ncl.ac.uk/~72>

Q) 입사한 태양복사가 대기에 도달하면 어떤 일이 발생할 수 있는가?

투과 or 흡수 or 반사/산란 하게 하게 된다.

Q) 입사한 태양복사의 평균적인 지표, 대기, 구름에서의 분포를 설명하시오

지표 흡수: 50%,

구름, 대기 흡수: 20%,

구름 반사: 20%,

대기 후방 산란: 5%,

지표, 해수면 반사: 5%

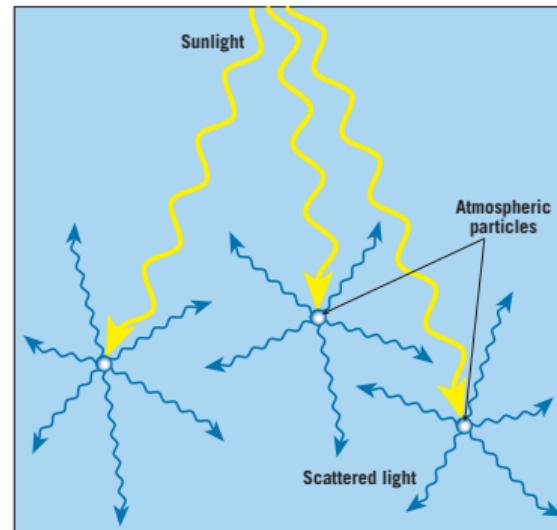
반사와 산란

지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



▲ Figure 2.16 Scattering by atmospheric particles When sunlight is scattered, it results in rays traveling in different directions. Usually more energy is scattered in the forward direction than is backscattered.



- 반사는 빛이 물체의 표면과 만나는 각도와 같은 각도에서 같은 강도로 되돌아 가는 것
- 산란은 빛이 약화되어 다른 방향으로 무수히 흩어지는 것

레일리 산란(Rayleigh scattering)

지구와 태양의
관계

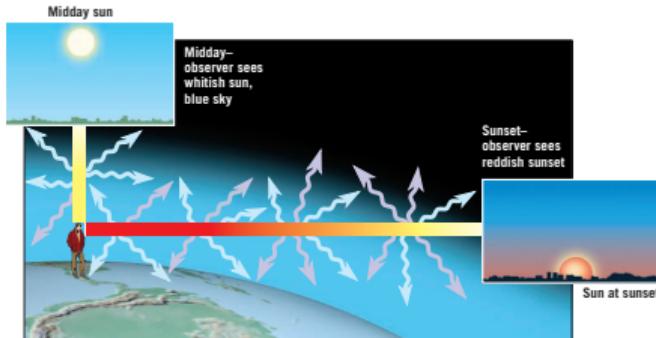
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



- 산란하는 입자의 크기가 파장보다 훨씬 작은 경우
- 산란 강도는 파장의 4제곱에 반비례

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

- 우리 대기의 구성 입자(분자)에 의한 산란이 여기에 해당

Q) 맑은날 하늘이 파랗게 보이는 이유를 설명하시오.

레일리 산란(Rayleigh scattering)

지구와 태양의
관계

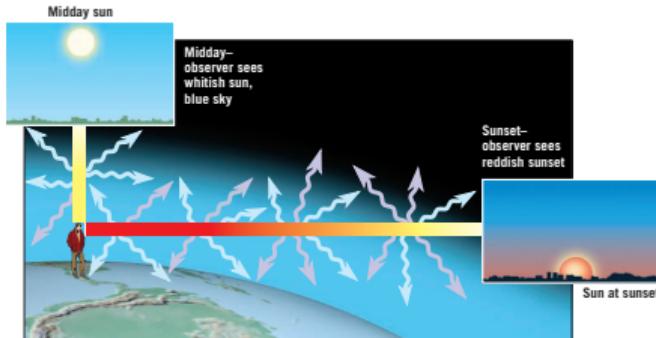
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



- 산란하는 입자의 크기가 파장보다 훨씬 작은 경우
- 산란 강도는 파장의 4제곱에 반비례

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

- 우리 대기의 구성 입자(분자)에 의한 산란이 여기에 해당

Q) 맑은날 하늘이 파랗게 보이는 이유를 설명하시오.

짧은 파장이 더 쉽게 산란되므로 우리 눈에 산란광이 도달하여 하늘이 푸르게 보인다.

Q) 일출이나 일몰 시 하늘이 붉게 보이는 이유를 설명하시오.

레일리 산란(Rayleigh scattering)

지구와 태양의
관계

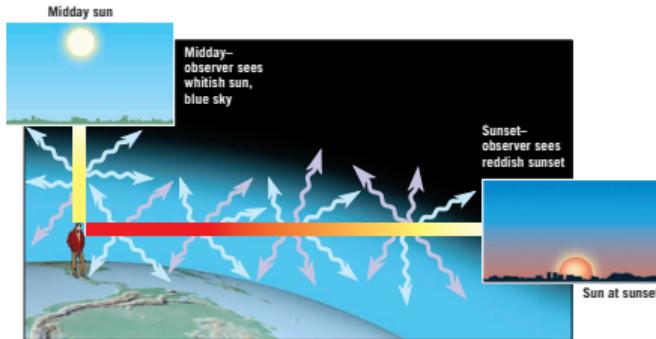
에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



- 산란하는 입자의 크기가 파장보다 훨씬 작은 경우
- 산란 강도는 파장의 4제곱에 반비례

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

- 우리 대기의 구성 입자(분자)에 의한 산란이 여기에 해당

Q) 맑은날 하늘이 파랗게 보이는 이유를 설명하시오.

짧은 파장이 더 쉽게 산란되므로 우리 눈에 산란광이 도달하여 하늘이 푸르게 보인다.

Q) 일출이나 일몰 시 하늘이 붉게 보이는 이유를 설명하시오.

대기의 광학적 두께가 두꺼워지는 일출, 일몰 시에는 단파장 영역의 빛이 대부분 산란되어 장파장 영역의 빛이 주로 도달하여 하늘이 붉게 보임(노을의 원리)

미 산란(Mie scattering)

지구와 태양의 관계

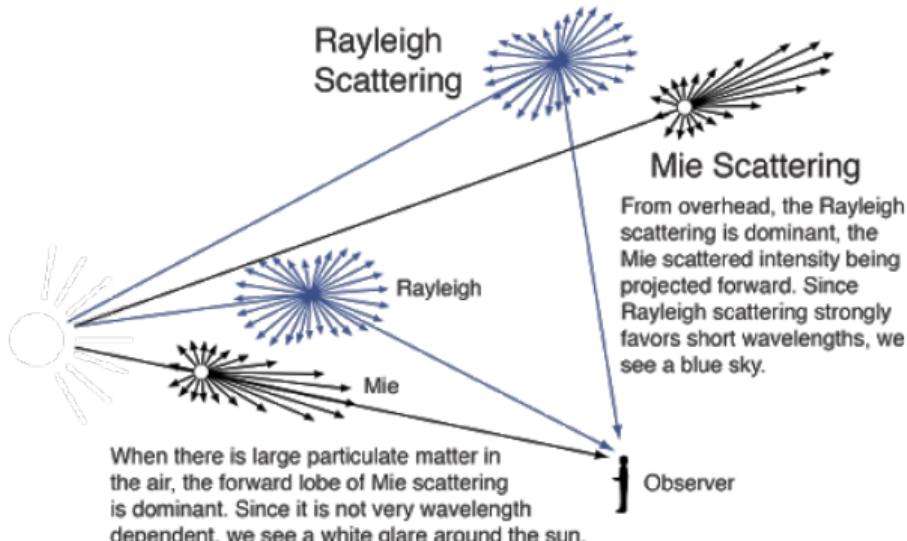
에너지 온도 그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



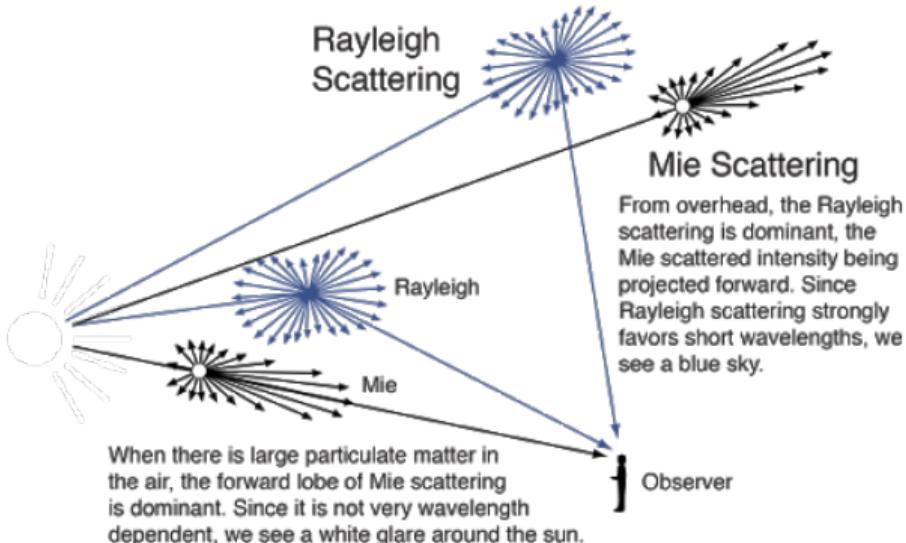
- 먼지와 같은 에어로졸과 빛방울처럼 산란하는 입자의 크기가 더 커진 경우
- 입자 위의 한 점으로부터 산란된 빛과 다른 점으로부터 산란된 빛의 위상이 어긋나 간섭이 발생하며 산란광의 분포도 레일리 산란과 다름
- 산란 강도는 파장과 무관함

Q) 구름이나 안개, 스모그 현상 시 하얗게 보이는 이유는?

미 산란(Mie scattering)

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가

대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지



- 먼지와 같은 에어로졸과 빛방울처럼 산란하는 입자의 크기가 더 커진 경우
- 입자 위의 한 점으로부터 산란된 빛과 다른 점으로부터 산란된 빛의 위상이 어긋나 간섭이 발생하며 산란광의 분포도 레일리 산란과 다름
- 산란 강도는 파장과 무관함

Q) 구름이나 안개, 스모그 현상 시 하얗게 보이는 이유는?

물방울, 먼지는 빛의 파장보다 크기가 커서 Mie 산란을 일으켜 모든 파장에서 고르게 빛을 산란시키므로

반사율(albedo)

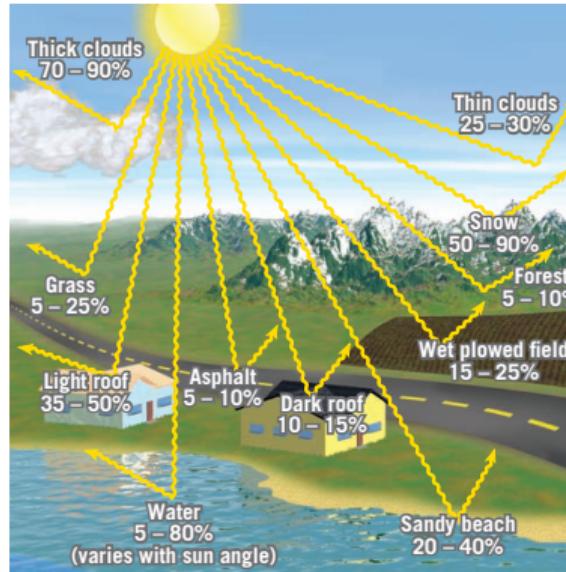
지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

▼ **Figure 2.17 Albedo (reflectivity) of various surfaces** In general light-colored surfaces tend to be more reflective than dark-colored surfaces and thus have higher albedos.



- 지표에 의해 반사된 복사 에너지의 비율
- 특정 파장에 대해 정의하지 않고 전 파장영역에 걸친 평균값으로 정의
- 입사광의 각도 분포나 대기의 투과율, 지표 성질에 의해서 변화할 수 있는 값

Q) 어떤 곳이 알베도가 높은가?

반사율(albedo)

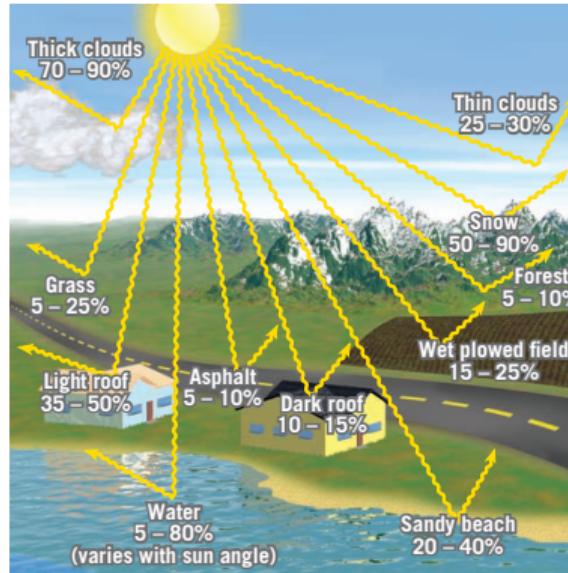
지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

▼ **Figure 2.17 Albedo (reflectivity) of various surfaces** In general light-colored surfaces tend to be more reflective than dark-colored surfaces and thus have higher albedos.



- 지표에 의해 반사된 복사 에너지의 비율
- 특정 파장에 대해 정의하지 않고 전 파장영역에 걸친 평균값으로 정의
- 입사광의 각도 분포나 대기의 투과율, 지표 성질에 의해서 변화할 수 있는 값

Q) 어떤 곳이 알베도가 높은가?
눈, 두꺼운 구름, 수면 등

Q) 구름이 알베도에 미치는 영향은 어떨까?

반사율(albedo)

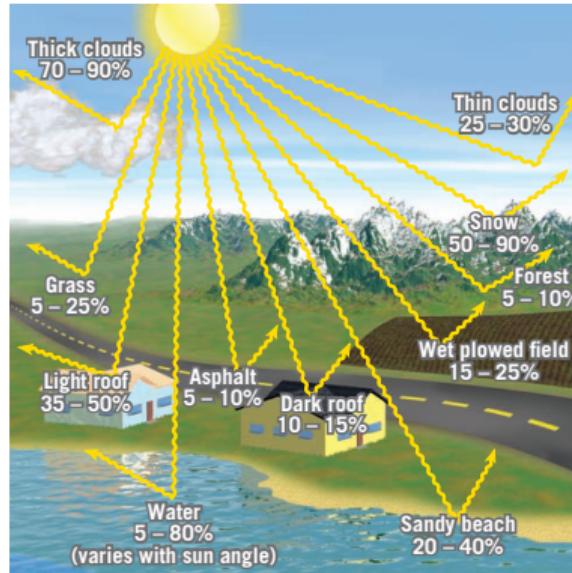
지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

▼ **Figure 2.17 Albedo (reflectivity) of various surfaces** In general light-colored surfaces tend to be more reflective than dark-colored surfaces and thus have higher albedos.



- 지표에 의해 반사된 복사 에너지의 비율
- 특정 파장에 대해 정의하지 않고 전 파장영역에 걸친 평균값으로 정의
- 입사광의 각도 분포나 대기의 투과율, 지표 성질에 의해서 변화할 수 있는 값

Q) 어떤 곳이 알베도가 높은가?
눈, 두꺼운 구름, 수면 등

Q) 구름이 알베도에 미치는 영향은 어떨까?
낮고 두꺼운 구름은 태양 복사를 반사하여 알베도를 높여 냉각 효과를 일으키고, 높고 얇은 구름은 대부분의 태양 복사가 반사 없이 지표에 도달, 지구 복사는 흡수하여 가열 효과를 일으킨다. 종합적으로는 냉각 효과가 일어난다.



지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

1 지구와 태양의 관계

2 에너지 온도 그리고 열

3 열 전달의 기구

4 입사 태양 복사는 어떻게 되는가

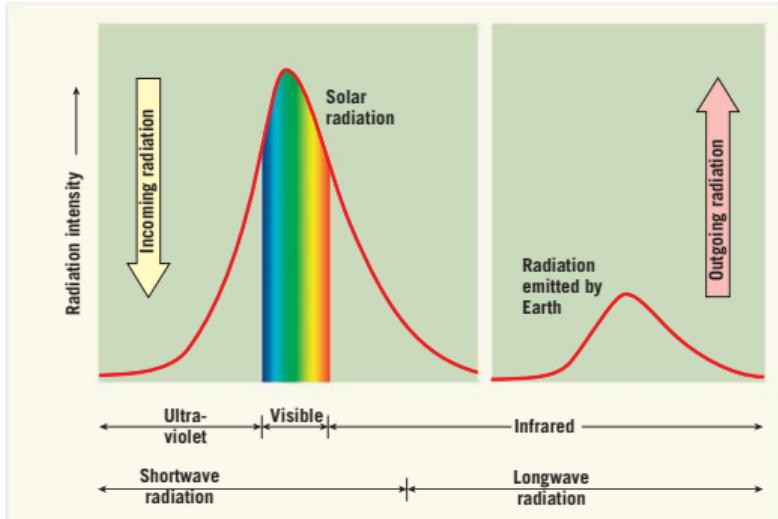
5 대기 중 기체의 역할

6 지구의 에너지 수지

태양 복사와 지구 복사

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



- 태양 복사는 자외선, 가시광선, 적외선, 단파복사($2.5 \mu\text{m}$ 보다 짧은 파장)
- 지구 복사의 대부분은 적외선, 장파복사($2.5 \sim 30 \mu\text{m}$)

Q) 태양(5800 K)과 지구(288 K)의 λ_{\max} 를 계산해 보자.

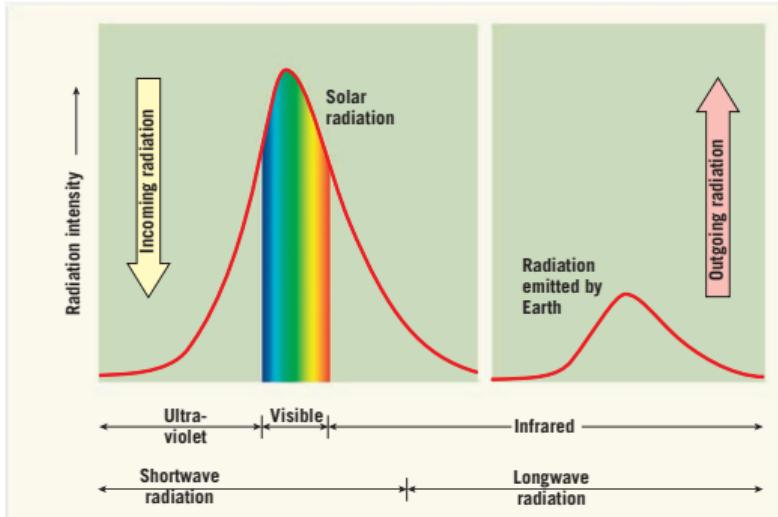
태양 복사와 지구 복사

지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



- 태양 복사는 자외선, 가시광선, 적외선, 단파복사($2.5 \mu\text{m}$ 보다 짧은 파장)
- 지구 복사의 대부분은 적외선, 장파복사($2.5 \sim 30 \mu\text{m}$)

Q) 태양(5800 K)과 지구(288 K)의 λ_{\max} 를 계산해 보자.

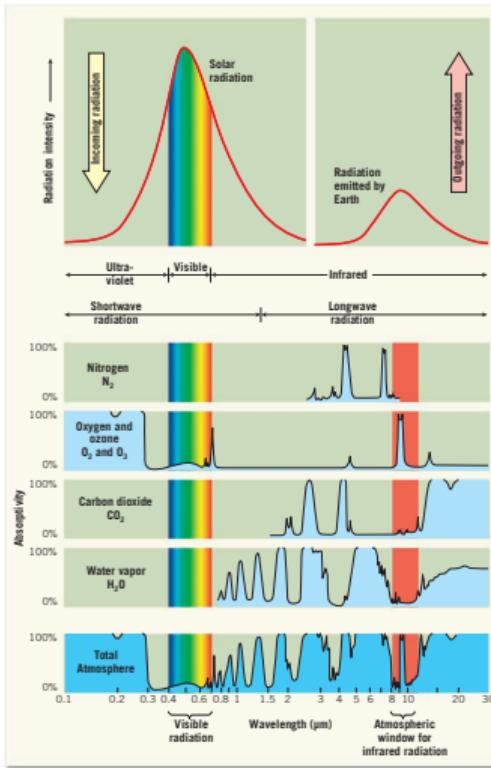
$$\lambda_{\max} \cdot T = C$$

$$C = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

태양 : 약 $0.5 \mu\text{m}$, 지구 : 약 $10 \mu\text{m}$

대기를 가열하기

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지

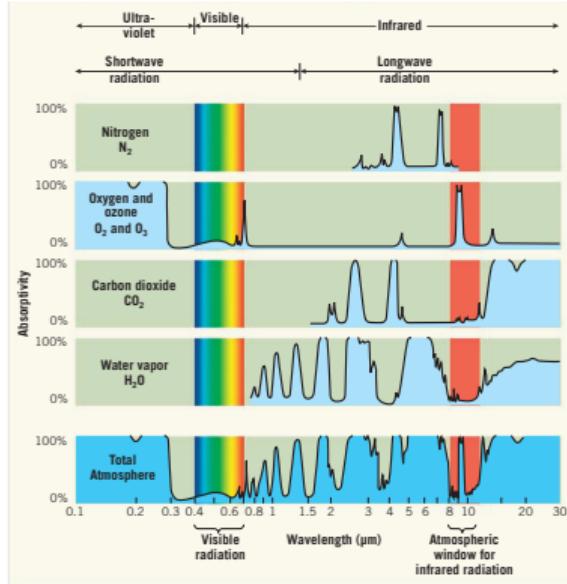


- 0.3 ~ 0.7 μm 파장의 가시광에 대해 어떤 기체도 효과적 흡수체가 아니므로 대기는 입사하는 태양 복사에 대해 거의 투명함.
- 반면, 장파장인 지구 복사에 대해 상대적으로 효과적인 흡수체이며, 대기는 지구 복사의 약 60% 정도를 흡수함.(불투명함)
- 태양 복사에 대한 효과적인 흡수체는 수증기, 산소, 오зон이며, 지구 복사에 대한 효과적인 흡수체는 수증기, 이산화 탄소임.

대기를 가열하기

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

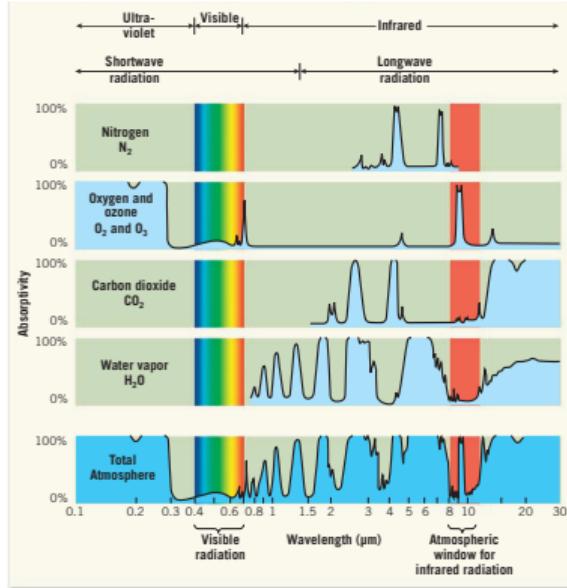


Q) '대기의 창'이란 무엇이며, 어떤 경우에 닫히기도 하는가?

대기를 가열하기

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



Q) '대기의 창'이란 무엇이며, 어떤 경우에 닫히기도 하는가?

지구 복사 중 $8 \sim 12 \mu m$ 파장 대역의 복사는 대기에 의해 거의 흡수되지 않는데, 이를 대기의 창이라고 부른다.

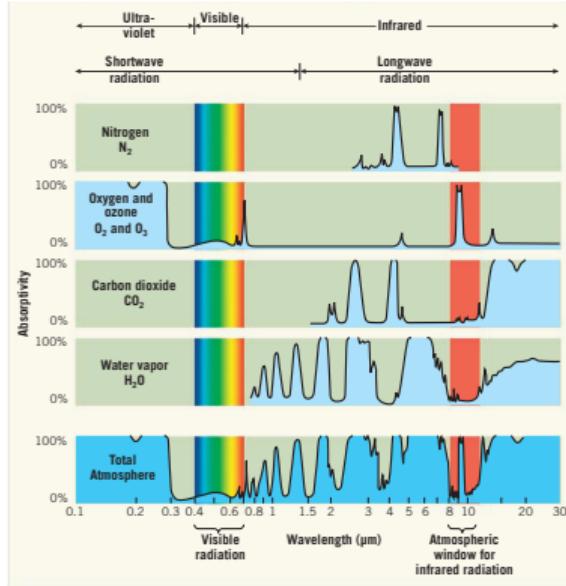
작은 물방울로 된 구름은 장파 복사를 잘 흡수하며, 이 에너지의 상당 부분을 지표로 방출한다. 따라서 대기의 창을 닫는 역할을 하며, 지표가 냉각되는 속도를 느리게 한다.

Q) 기상 위성의 수증기 채널로 사용하기 적합한 파장대는 얼마인가?

대기를 가열하기

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



Q)'대기의 창'이란 무엇이며, 어떤 경우에 닫히기도 하는가?

지구 복사 중 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 파장 대역의 복사는 대기에 의해 거의 흡수되지 않는데, 이를 대기의 창이라고 부른다.

작은 물방울로 된 구름은 장파 복사를 잘 흡수하며, 이 에너지의 상당 부분을 지표로 방출한다. 따라서 대기의 창을 닫는 역할을 하며, 지표가 냉각되는 속도를 느리게 한다.

Q)기상 위성의 수증기 채널로 사용하기 적합한 파장대는 얼마인가?

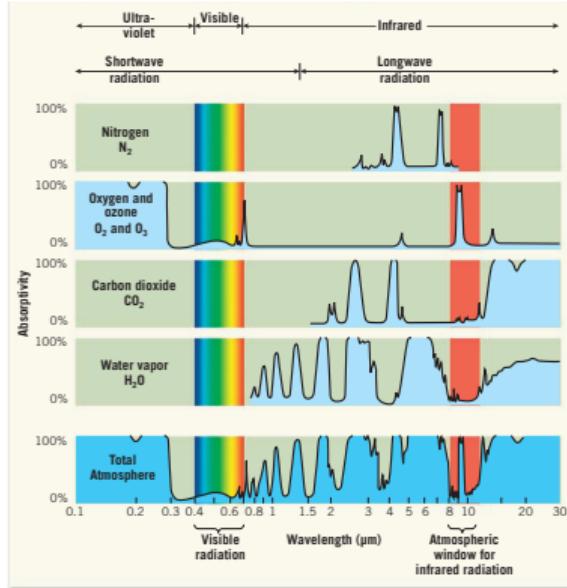
수증기에 의해서는 흡수되지만 다른 기체에 의해서는 거의 흡수되지 않는 $6 \sim 7 \mu\text{m}$ 영역이 수증기를 검출하는데 유용하다.

Q)기상 위성의 적외선 채널은 두 개의 파장대는 얼마이며 이를 구분해주는 기체는 어떤 성분인가?

대기를 가열하기

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지



Q)'대기의 창'이란 무엇이며, 어떤 경우에 닫히기도 하는가?

지구 복사 중 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 파장 대역의 복사는 대기에 의해 거의 흡수되지 않는데, 이를 대기의 창이라고 부른다.

작은 물방울로 된 구름은 장파 복사를 잘 흡수하며, 이 에너지의 상당 부분을 지표로 방출한다. 따라서 대기의 창을 닫는 역할을 하며, 지표가 냉각되는 속도를 느리게 한다.

Q)기상 위성의 수증기 채널로 사용하기 적합한 파장대는 얼마인가?

수증기에 의해서는 흡수되지만 다른 기체에 의해서는 거의 흡수되지 않는 $6 \sim 7 \mu\text{m}$ 영역이 수증기를 검출하는데 유용하다.

Q)기상 위성의 적외선 채널은 두 개의 파장대는 얼마이며 이를 구분해주는 기체는 어떤 성분인가?

중심파장이 각각 $\text{IR1} = 10.8 \mu\text{m}$, $\text{IR2} = 12.0 \mu\text{m}$ 이며, 이 둘의 사이는 산소와 오존에 의해 나누어진다.

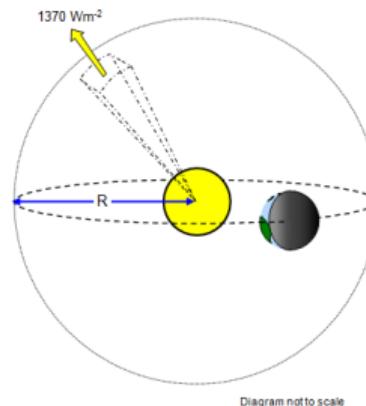
복사평형 온도

지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열

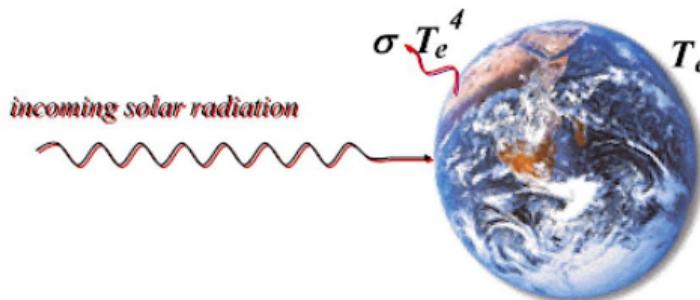
열 전달의 기구
입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

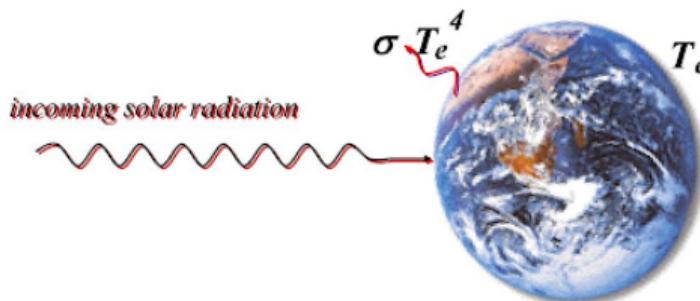
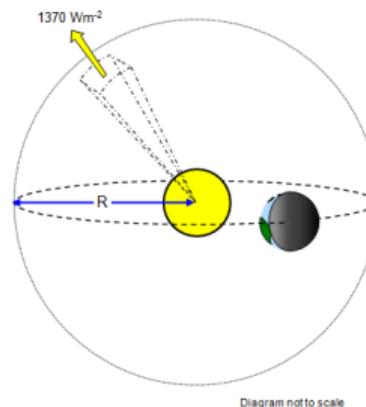


Q) 각 행성에서의 태양 상수는 어떻게 되는가?
(단, 지구의 태양 상수는 S_0 , 태양- 지구 사이의
평균 거리는 r_0 , 태양 행성 사이의 평균 거리는
 r_p 이다.)



복사평형 온도

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지



Q) 각 행성에서의 태양 상수는 어떻게 되는가?
(단, 지구의 태양 상수는 S_0 , 태양- 지구 사이의 평균 거리는 r_0 , 태양 행성 사이의 평균 거리는 r_p 이다.)

$$S_p = S_0 \left(\frac{r_0}{r_p} \right)^2$$

Q) 그림을 참고하여 행성의 복사평형 온도(T_e)를 식으로 나타내면? (단, 행성의 태양 상수는 S_p , 행성의 반지름은 R_p , 반사율 A 라 하고, 대기의 온실 효과는 고려하지 않는다.)

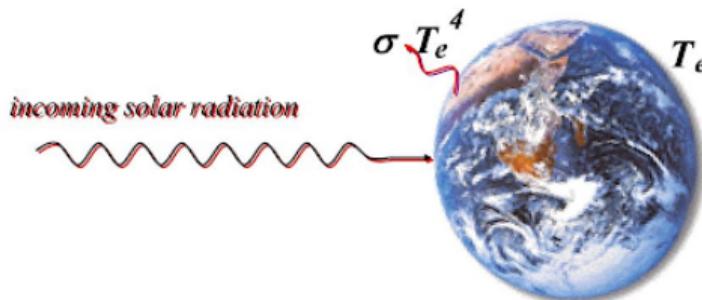
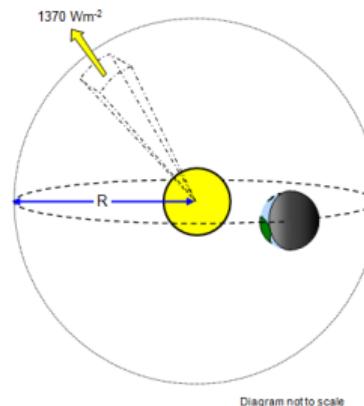
복사평형 온도

지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지



Q) 각 행성에서의 태양 상수는 어떻게 되는가?
(단, 지구의 태양 상수는 S_0 , 태양- 지구 사이의
평균 거리는 r_0 , 태양 행성 사이의 평균 거리는
 r_p 이다.)

$$S_p = S_0 \left(\frac{r_0}{r_p} \right)^2$$

Q) 그림을 참고하여 행성의 복사평형 온도(T_e)
를 식으로 나타내면? (단, 행성의 태양 상수는
 S_p , 행성의 반지름은 R_p , 반사율 A 라 하고, 대
기의 온실 효과는 고려하지 않는다.)

$$\pi R_p^2 (1 - A) S_p = 4\pi R_p^2 \sigma T_e^4$$

$$T_e = \left(\frac{1 - A}{4\sigma} S_p \right)^{\frac{1}{4}}$$

복사평형 온도

지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

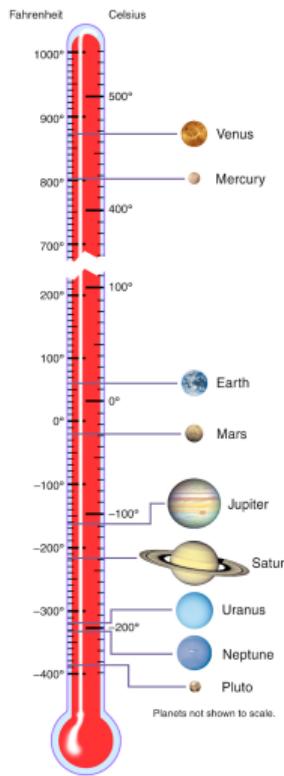
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

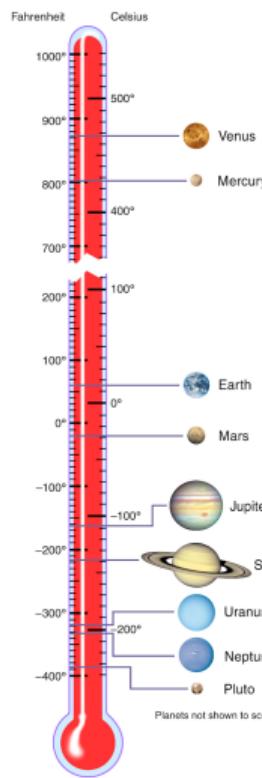
대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

Q) 태양계 행성들의 복사평형 온도를 계산해 보자.



복사평형 온도



Q) 태양계 행성들의 복사평형 온도를 계산해 보자.
실험 시간에 Python으로

지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

복사평형

지구와 태양의 관계

에너지 온도 그리고 열

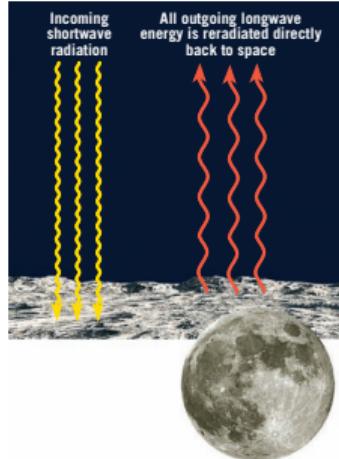
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

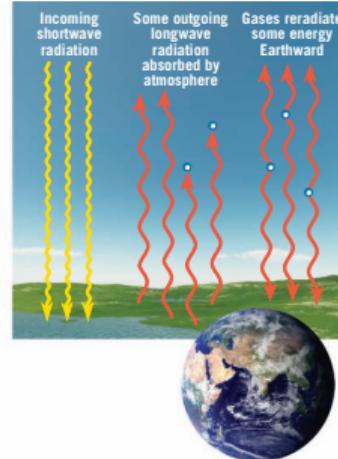
대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

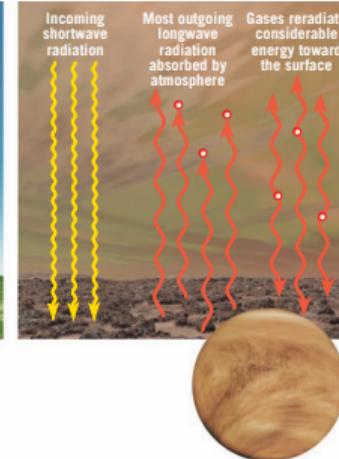
A. Airless bodies like the Moon All incoming solar radiation reaches the surface. Some is reflected back to space. The rest is absorbed by the surface and radiated directly back to space. As a result the lunar surface has a much lower average temperature than Earth.



B. Bodies with modest amounts of greenhouse gases like Earth The atmosphere absorbs some of the longwave radiation emitted by the surface. A portion of this energy is radiated back to the surface and is responsible for keeping Earth's surface 33°C (59°F) warmer than it would otherwise be.



C. Bodies with abundant greenhouse gases like Venus Venus experiences extraordinary greenhouse warming, which is estimated to raise its surface temperature by 523°C (941°F).



Q) 지구와 달의 복사평형 온도는 255 K로 같은데, 지구의 평균 온도는 288 K인 이유는 무엇인가?

- 복사평형(흡수E = 방출E): 행성(위성)들은 태양으로부터 받은 복사에너지와 같은 양의 에너지를 다시 우주 공간으로 방출하여 장기적 관점에서 온도는 일정하게 유지된다.

복사평형

지구와 태양의 관계

에너지 온도
그리고 열

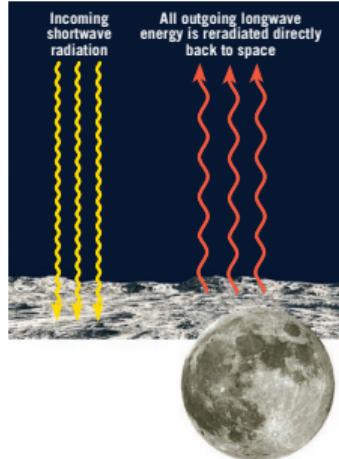
열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게 되는가

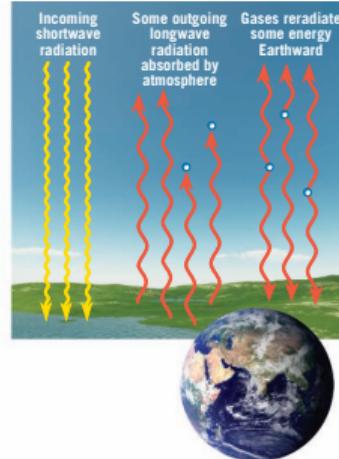
대기 중 기체의 역할

지구의 에너지 수지

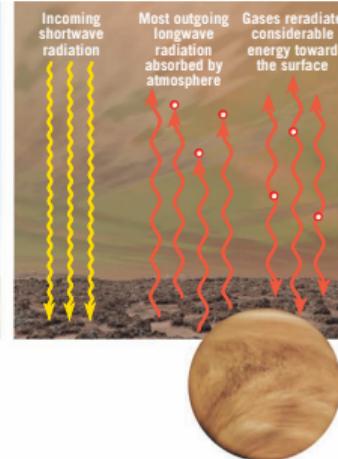
A. Airless bodies like the Moon All incoming solar radiation reaches the surface. Some is reflected back to space. The rest is absorbed by the surface and radiated directly back to space. As a result the lunar surface has a much lower average temperature than Earth.



B. Bodies with modest amounts of greenhouse gases like Earth The atmosphere absorbs some of the longwave radiation emitted by the surface. A portion of this energy is radiated back to the surface and is responsible for keeping Earth's surface 33°C (59°F) warmer than it would otherwise be.



C. Bodies with abundant greenhouse gases like Venus Venus experiences extraordinary greenhouse warming, which is estimated to raise its surface temperature by 523°C (941°F).



Q) 지구와 달의 복사평형 온도는 255 K로 같은 데, 지구의 평균 온도는 288 K인 이유는 무엇인가?

지구와 달은 태양과의 평균 거리가 비슷하므로 태양 상수가 같아 복사평형 온도는 288 K로 같지만, 지구는 온실효과로 약 33 K 가량 기온이 높게 나타난다.

- 복사평형(흡수E = 방출E): 행성(위성)들은 태양으로부터 받은 복사에너지와 같은 양의 에너지를 다시 우주 공간으로 방출하여 장기적 관점에서 온도는 일정하게 유지된다.



지구와 태양의
관계

에너지 온도
그리고 열

열 전달의 기구

입사 태양
복사는 어떻게
되는가

대기 중 기체의
역할

지구의 에너지
수지

1 지구와 태양의 관계

2 에너지 온도 그리고 열

3 열 전달의 기구

4 입사 태양 복사는 어떻게 되는가

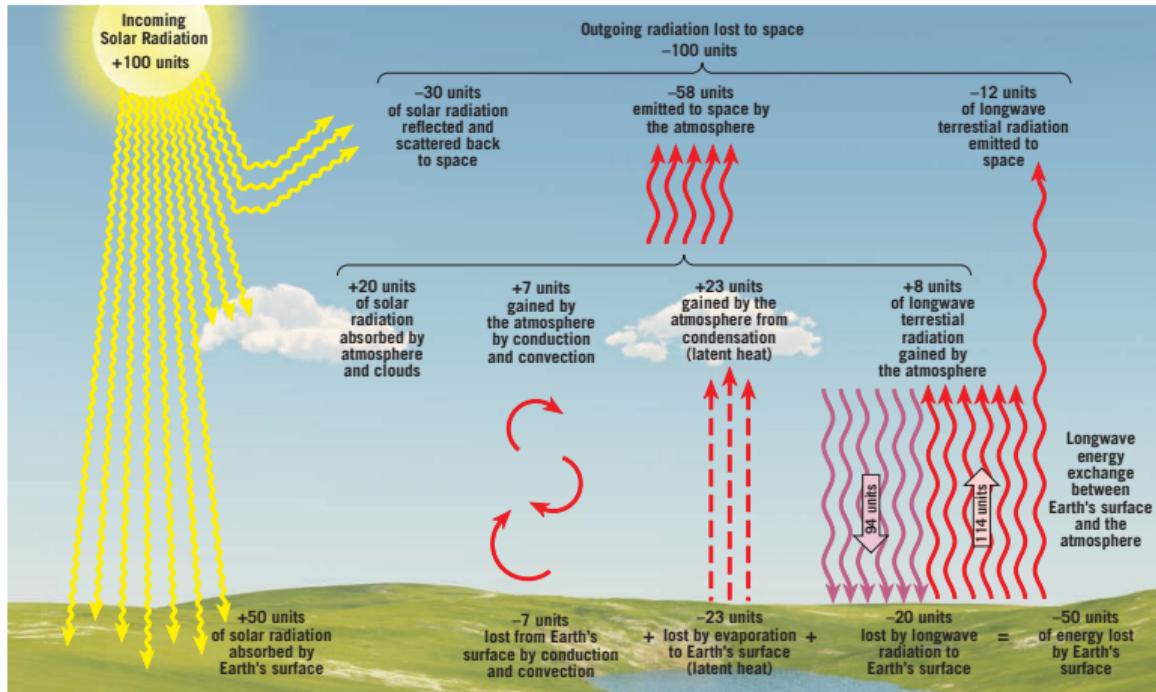
5 대기 중 기체의 역할

6 지구의 에너지 수지

에너지 수지

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지

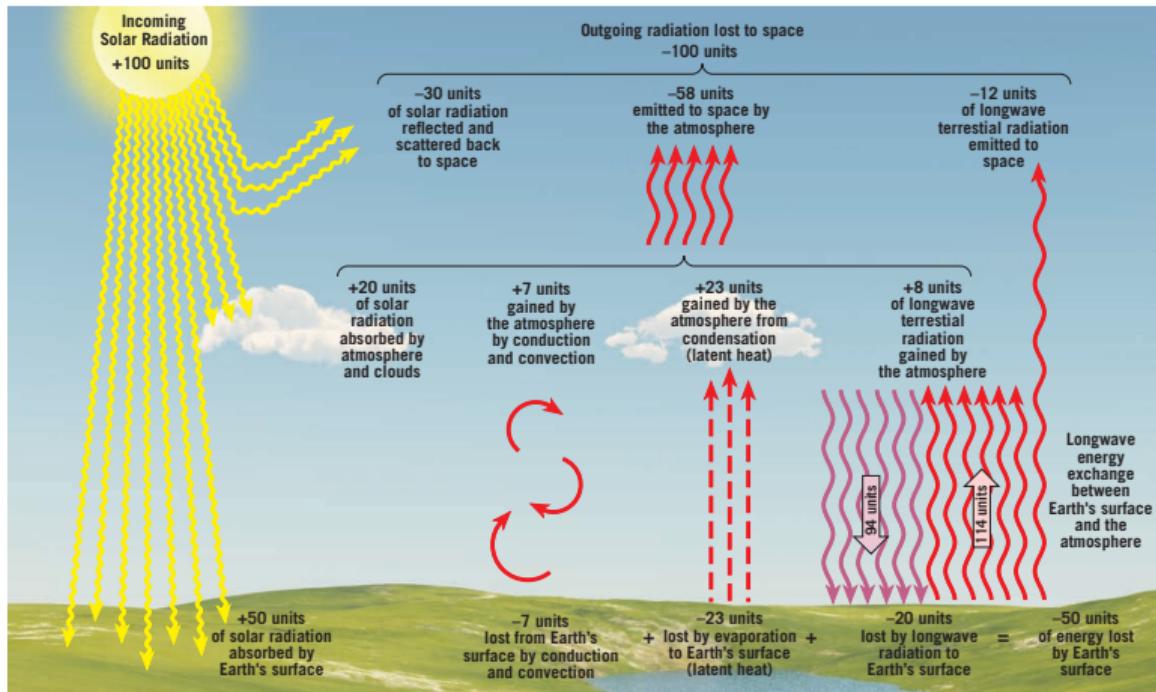
Q) 지구의 연간 에너지 수지 값 을 설명하시오.



▲ Figure 2.23 Earth's energy budget These estimates of the average global energy budget come from satellite observations and radiation studies. As more data are accumulated, these numbers will be modified.

에너지 수지

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양 복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지

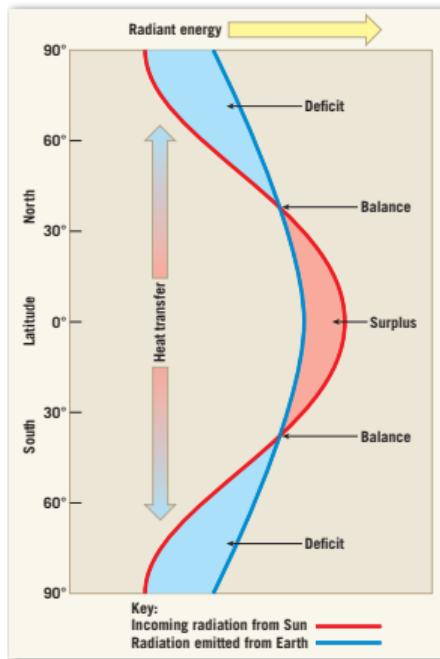


▲ Figure 2.23 Earth's energy budget These estimates of the average global energy budget come from satellite observations and radiation studies. As more data are accumulated, these numbers will be modified.

Q) 지구의 연간 에너지 수지 값을 설명하시오.
 우주공간, 대기, 지표로 구분하여 각각 흡수하는 에너지(+)와 방출하는 에너지(-)의 합이 0이 되는지 확인.

위도별 열수지

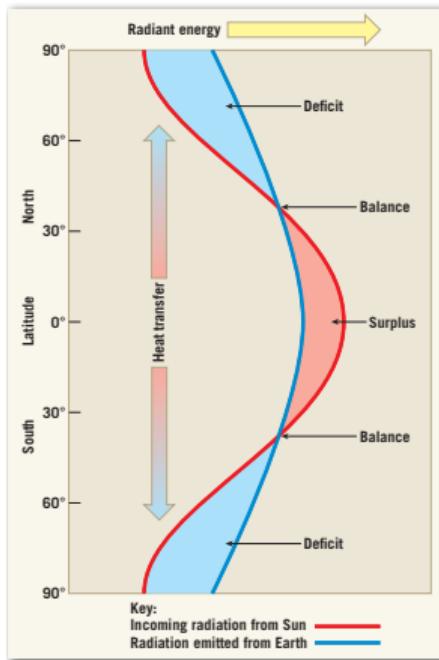
지구와 태양의
관계
에너지 온도
그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양
복사는 어떻게
되는가
대기 중 기체의
역할
지구의 에너지
수지



Q) 그림과 같이 적도 지방과 극 지방 사이의 열 불균형이 나타나는 이유와 열 불균형으로 인해 나타나는 현상은?

위도별 열수지

지구와 태양의 관계
에너지 온도 그리고 열
열 전달의 기구
입사 태양
복사는 어떻게 되는가
대기 중 기체의 역할
지구의 에너지 수지



Q) 그림과 같이 적도 지방과 극 지방 사이의 열 불균형이 나타나는 이유와 열 불균형으로 인해 나타나는 현상은?

적도 지방은 일반적으로 태양의 고도가 높아 입사하는 복사 에너지가 방출되는 복사보다 많지만, 극 지방은 반대가 되기 때문에 해류와 바람을 통해 적도 지방의 누적된 열이 극지방으로 이동한다.