

기압과 바람

제6장

대기과학 및 실험 (2021)



박 기 현

과학영재학교 경기과학고등학교

2021년 9월 29일



기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람

① 기압과 바람

② 기압은 왜 변하는가

③ 바람에 영향을 미치는 요소

④ 상층과 지상의 바람

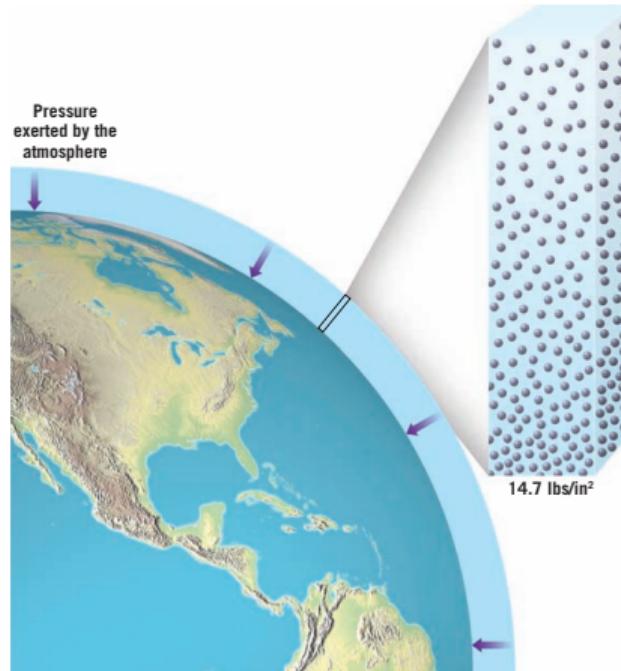
기압

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ Figure 6.1 Average air pressure at sea level is about 14.7 pounds per square inch

바람은 기압의 수평방향 차이에 의한 결과 기압은 공기의 무게에 의하여 받는 단위 면적당의 힘

과거에는 milibar 단위를 사용했으나 최근에는 hPa 단위를 사용 ($1 \text{ mb} = 1 \text{ hPa} = 100 \text{ N/m}^2$)

Q) 해수면에서의 대기압을 hPa 단위로 계산하시오.

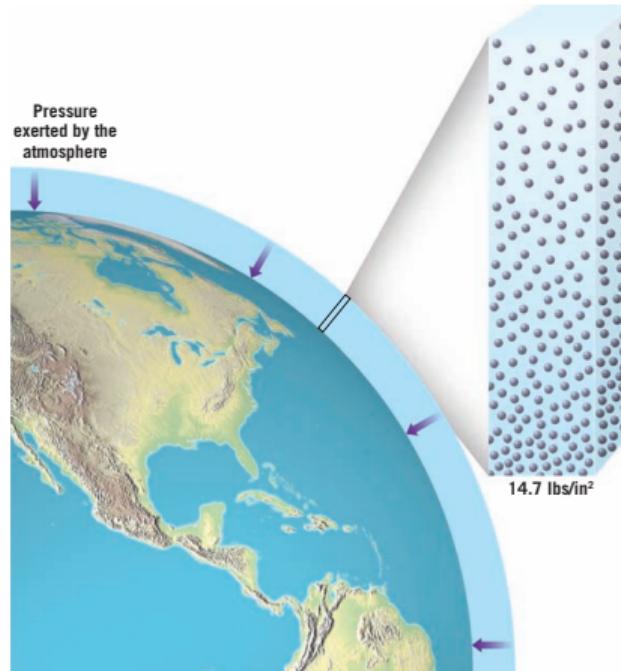
기압

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ Figure 6.1 Average air pressure at sea level is about 14.7 pounds per square inch

바람은 기압의 수평방향 차이에 의한 결과 기압은 공기의 무게에 의하여 받는 단위 면적당의 힘

과거에는 milibar 단위를 사용했으나 최근에는 hPa 단위를 사용 ($1 \text{ mb} = 1 \text{ hPa} = 100 \text{ N/m}^2$)

Q) 해수면에서의 대기압을 hPa 단위로 계산하시오.

$$1 \text{ 기압} = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg}$$

$$P = \rho gh$$

$$= 13.595 \text{ g/cm}^3 \times 9.80665 \text{ m/s}^2 \times 76 \text{ cm}$$

$$= 13,595 \text{ kg/m}^3 \times 9.80665 \text{ m/s}^2 \times 0.76 \text{ m}$$

$$= 101324.27 \text{ kg/m}^3 \text{s}^2$$

$$= 1013.2427 \text{ kg m s}^2/\text{m}^2$$

$$= 1013.2427 \text{ hPa}$$

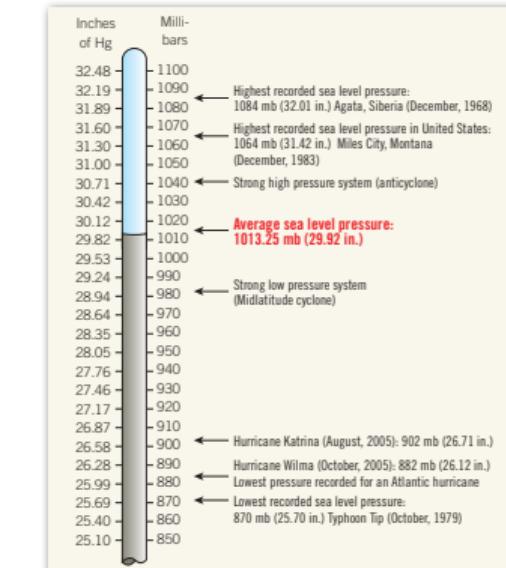
기압의 측정

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

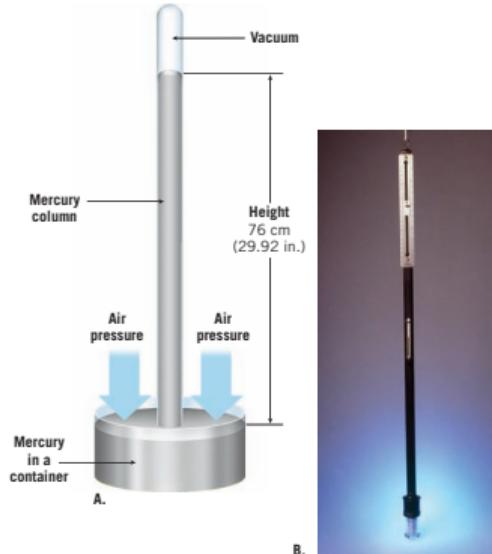
바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



<http://goo.gl/DH6pb>

▲ SmartFigure 6.2 A comparison of atmospheric pressure in inches of mercury and in millibars



▲ Figure 6.3 Mercury barometer A. The weight of the column of mercury is balanced by the pressure exerted on the dish of mercury by the air above. If the pressure decreases, the column of mercury falls; if the pressure increases, the column rises. B. Image of a mercury barometer.

수은기압계: 토리첼리가 발명한 것으로 수은을 사용

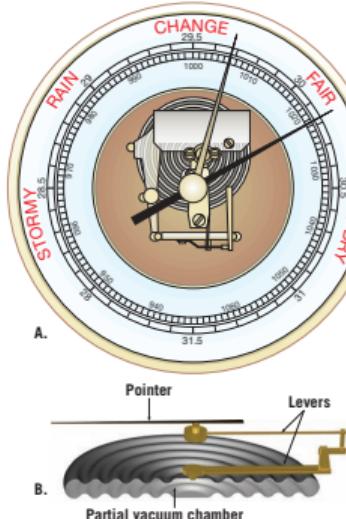
기압의 측정

기압과 바람

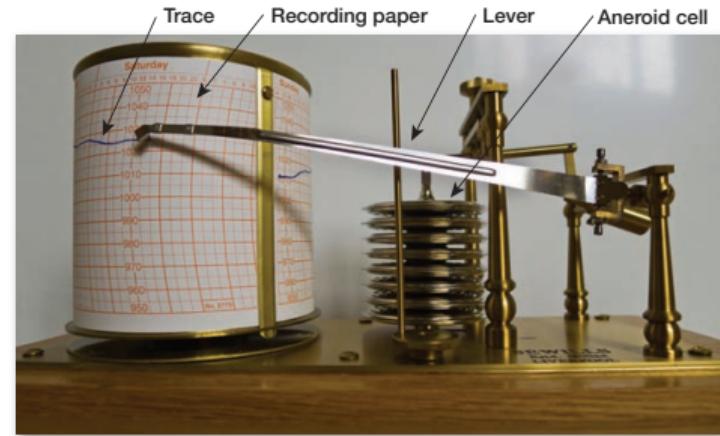
기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ **Figure 6.4 Aneroid barometer** A. Illustration of an aneroid barometer. B. The aneroid barometer has a partially evacuated chamber that changes shape, compressing as atmospheric pressure increases and expanding as pressure decreases.



▲ **Figure 6.5 Aneroid barograph** This instrument makes a continuous record of air pressure changes.

아네로이드 기압 기록계: 연속적으로 기압 값을 기록함.

아네로이드 기압계 : 진공의 금속관을 사용하여 기압의 증감에 따라 수축하거나 팽창하면서 진공관의 형태가 바뀌게 됨.

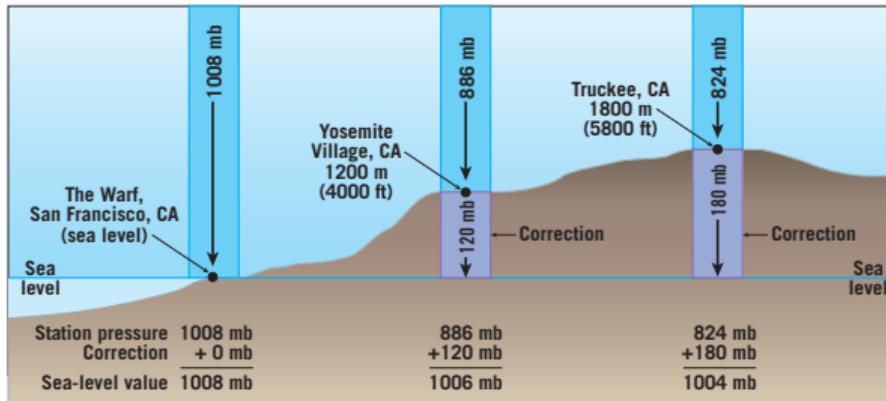
기압의 해면 경정

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ **Figure 6.6 Correcting pressure readings to sea-level equivalence** This is done by adding the pressure that would be exerted by an imaginary column of air to the station's pressure reading. The higher the recording station's elevation, the greater the correction.

고도에 따른 기압의 변화를 보정하기 위해 해수면에서의 값으로 관측값을 환산해야 함.

일반적으로 해수면 근처에서는 10 m 상승시 1 hPa 감소.



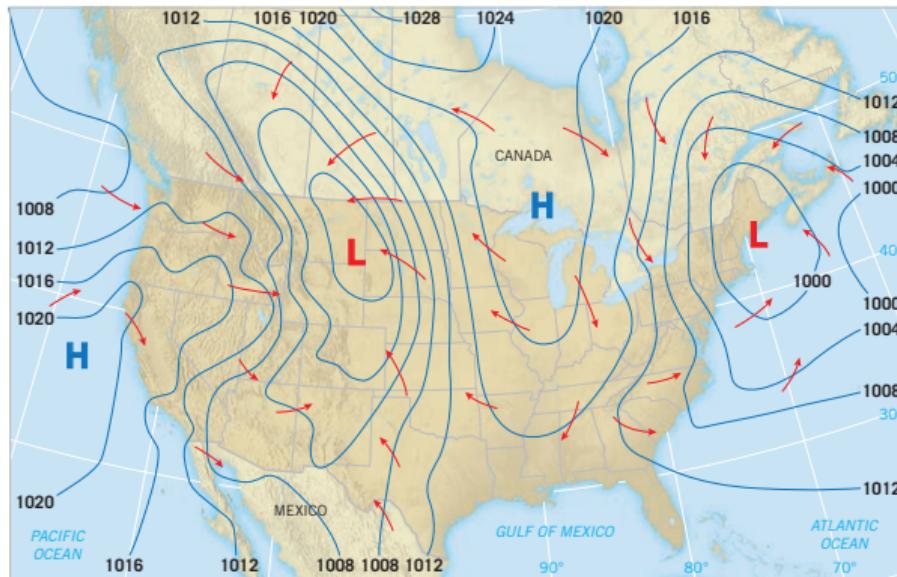
지상 일기도

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을 미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ **Figure 6.7 Surface weather map** This simplified surface weather map uses isobars to show high-pressure (anticyclones) and low-pressure (cyclones) systems. The idealized wind patterns associated with these pressure systems are shown with red arrows.

지상 일기도에는 해면 기압이 같은 지점을 연결한 등압선을 표시함.

붉은색 화살표는 바람을 나타냄.

Q) 고기압, 저기압의 수평적 크기는 얼마나 되는가?



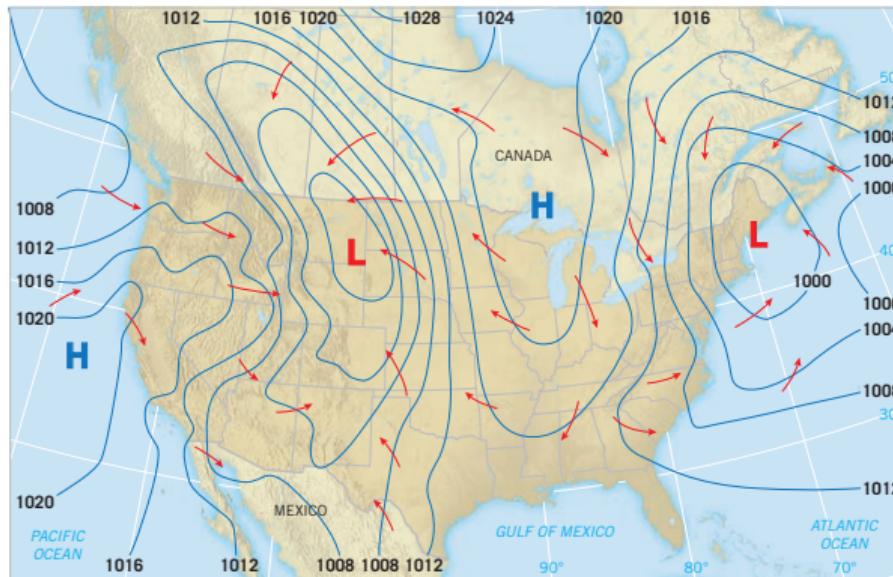
지상 일기도

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을 미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ **Figure 6.7 Surface weather map** This simplified surface weather map uses isobars to show high-pressure (anticyclones) and low-pressure (cyclones) systems. The idealized wind patterns associated with these pressure systems are shown with red arrows.

지상 일기도에는 해면 기압이 같은 지점을 연결한 등압선을 표시함.

붉은색 화살표는 바람을 나타냄.

Q) 고기압, 저기압의 수평적 크기는 얼마나 되는가?

대개 1000 ~ 2000 km 정도의 크기를 갖는다.

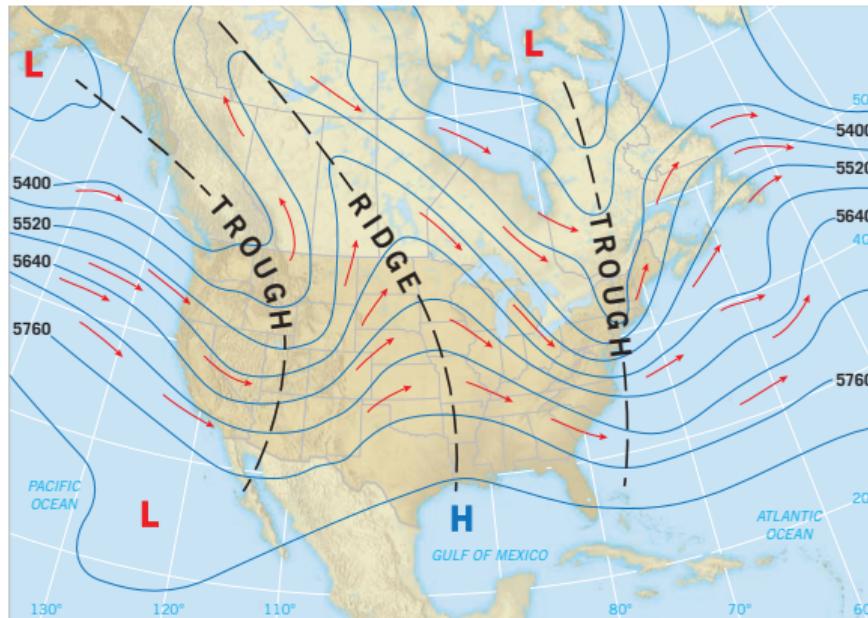
상층 일기도

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ **Figure 6.8 Upper-air weather chart** This upper-air weather chart shows the height contours at the 500-millibar level. Rather than show variations in pressure at fixed heights, upper-level charts are similar to topographic maps in that the contour pattern reveals the “hills” (ridges) and “valleys” (troughs) of a constant-pressure surface. Therefore, *higher-elevation* contours indicate *higher* pressures, and *lower-elevation* contours indicate *lower* pressures. The idealized wind patterns associated with these pressure systems are shown with red arrows.

상층 일기도는 등압면에 대한 등고선으로 나타냄

기압이 높은 곳은 기압마루(ridge),
기압이 낮은 곳은 기압골(trough)

붉은색 화살표는 바람을 나타냄.

Q) 기상청에서 제공하는 상층 일기도의 종류와 대략적인 고도는?

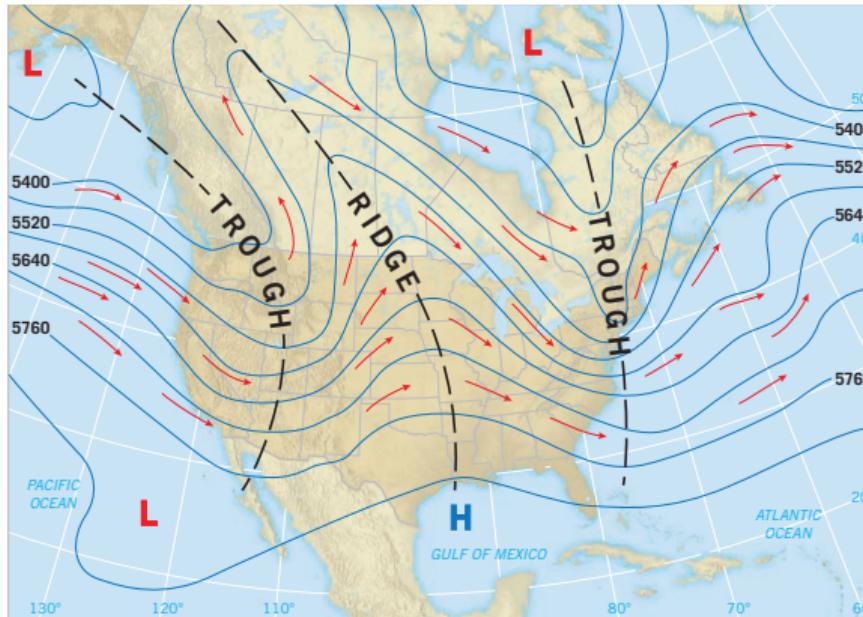
상층 일기도

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ Figure 6.8 Upper-air weather chart This upper-air weather chart shows the height contours at the 500-millibar level. Rather than show variations in pressure at fixed heights, upper-level charts are similar to topographic maps in that the contour pattern reveals the "hills" (ridges) and "valleys" (troughs) of a constant-pressure surface. Therefore, *higher-elevation* contours indicate *higher* pressures, and *lower-elevation* contours indicate *lower* pressures. The idealized wind patterns associated with these pressure systems are shown with red arrows.

상층 일기도는 등압면에 대한 등고선으로 나타냄

기압이 높은 곳은 기압마루(ridge),
기압이 낮은 곳은 기압골(trough)

붉은색 화살표는 바람을 나타냄.

Q) 기상청에서 제공하는 상층 일기도의 종류와 대략적인 고도는?

- 925 hPa : 800 m,
- 850 hPa : 1,500 m,
- 700 hPa : 3,000 m,
- 500 hPa : 5,600 m,
- 300 hPa : 9,800 m,
- 200 hPa : 12,500 m,
- 100 hPa : 16,800 m



기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람

1 기압과 바람

2 기압은 왜 변하는가

3 바람에 영향을 미치는 요소

4 상층과 지상의 바람

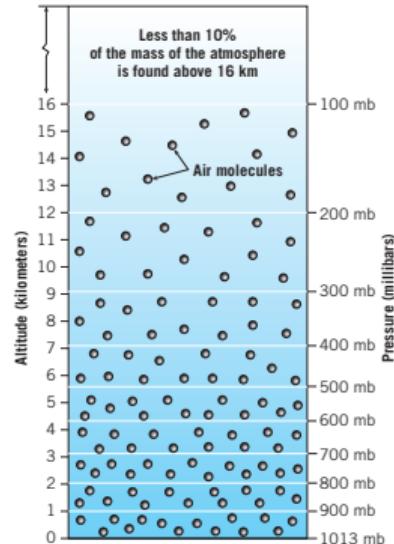
고도에 따른 기압의 변화

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



고도가 높아질수록 위에서 누르는 공기의 무게가 줄어들기 때문에 기압이 감소

기압의 감소율은 로그 스케일로 지상에 가까울수록 감소율이 크고, 상공에서는 작다.

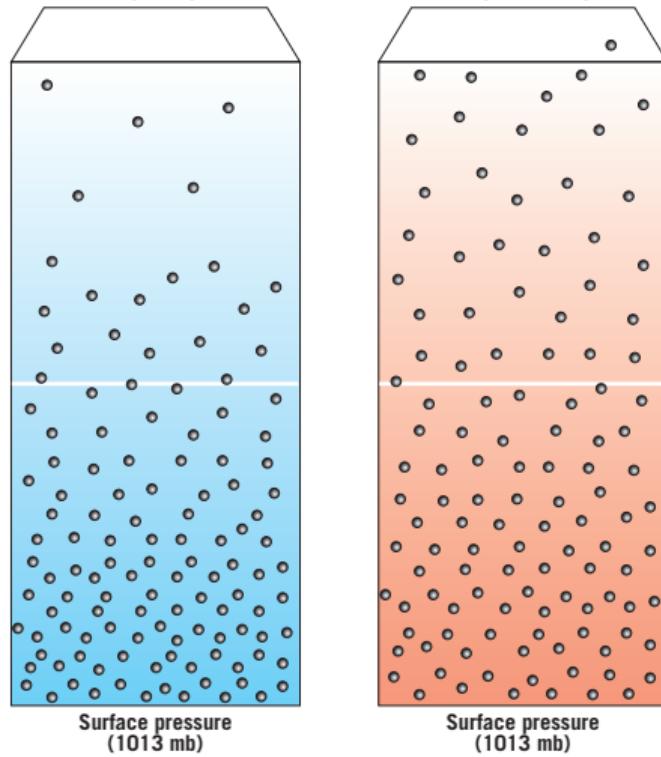
기온에 따른 기압의 변화

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



기온이 높을수록 분자운동이 더 활발하여 입자간 거리가 멀고 밀도가 작다.

밀도가 증가하면 지표면에 미치는 기압이 커지게 된다.

다른 조건이 모두 같다면, 차가운 공기는 지상의 고기압, 따뜻한 공기는 지상의 저기압이 된다.

찬 공기(밀도가 큰 공기)의 경우 따뜻한 공기(밀도가 작은 공기)에 비하여 고도에 따른 기압 감소가 크다.

높은 고도에서는 따뜻한 지역이 찬 지역 보다 더 높은 기압을 갖게 된다.



기압의 변화

Q) 기압이 변하는 요인 네 가지를 설명하시오.

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



기압의 변화

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람

Q) 기압이 변하는 요인 네 가지를 설명하시오.

- 1) 고도: 고도가 높아질수록 위에서 누르는 공기의 무게가 줄어들기 때문에 기압이 감소
기압의 감소율은 로그 스케일로 지상에 가까울수록 감소율이 크고, 상공에서는 작다.
- 2) 기온: 기온이 높을수록 분자운동이 더 활발하여 입자간 거리가 멀고 밀도가 작음. 이에 따라 기압도 작아짐
- 3) 수증기량: 수증기량이 많을수록 공기의 밀도가 낮아져 기압은 감소 일반적으로 지상에서 차고 건조한 공기는 습하고 따뜻한 공기보다 지상에 더 높은 기압 발생시킴.
- 4) 상층의 공기 흐름: 상층 수렴은 지상 기압 상승을, 상층 발산은 지상 기압 하강을 유도

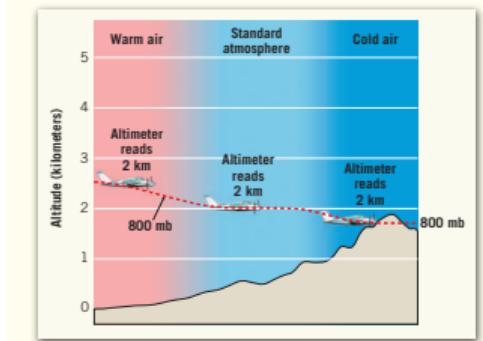
기압의 변화

기압과 바람

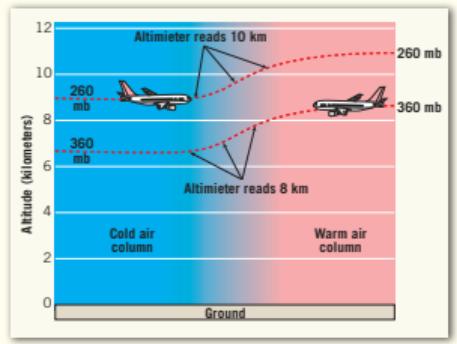
기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



Q) 산악 지형을 비행하는 경우 위험한 결과를 초래할 수 있는 이유는?



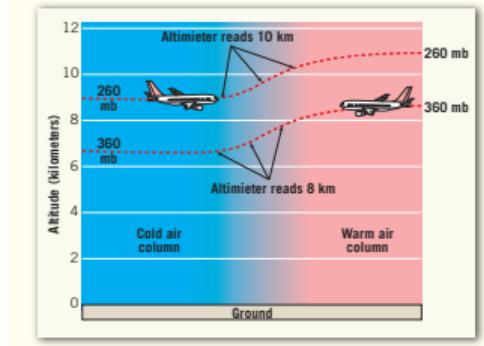
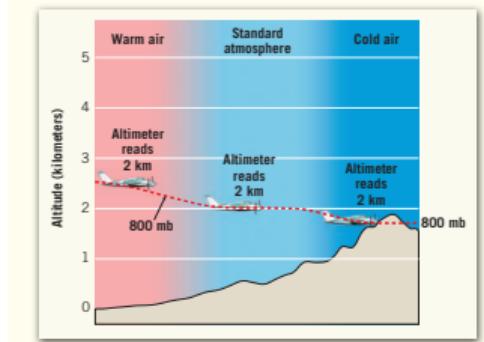
기압의 변화

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



Q) 산악 지형을 비행하는 경우 위험한 결과를 초래할 수 있는 이유는?

비행 고도계는 기압을 고도로 바꾸어주는 아네로이드 기압계로 구성되어 있다. 항상 변화하는 기압과 기온으로 인해 비행기 내부 기록된 기압이 실제와 달라진다.

표준대기 보다 따뜻한 곳은 고도계의 고도보다 더 높은 고도 비행,

표준대기 보다 차가운 곳은 고도계의 고도보다 더 낮은 고도 비행



기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람

1 기압과 바람

2 기압은 왜 변하는가

3 바람에 영향을 미치는 요소

4 상층과 지상의 바람

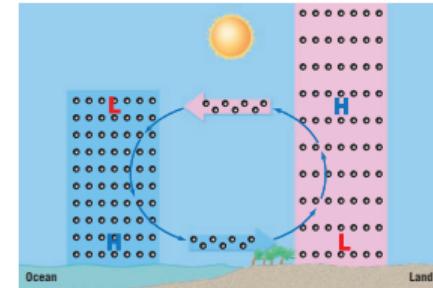
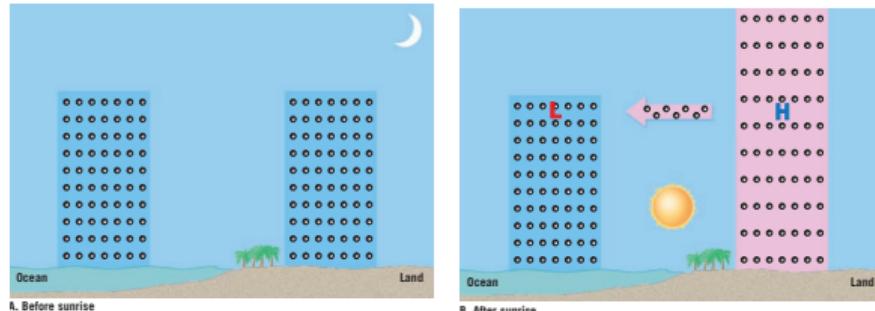
기압경도력(PGF, Pressure Gradient Force)

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ Figure 6.12 Cross-sectional view illustrating the formation of a sea breeze A. Just before sunrise; B. after sunrise; C. sea breeze established.

Q) 온도 차이가 수평 기압 경도와 이에 따른 바람을 생성하는 과정을 '해풍'의 예로 설명하시오.

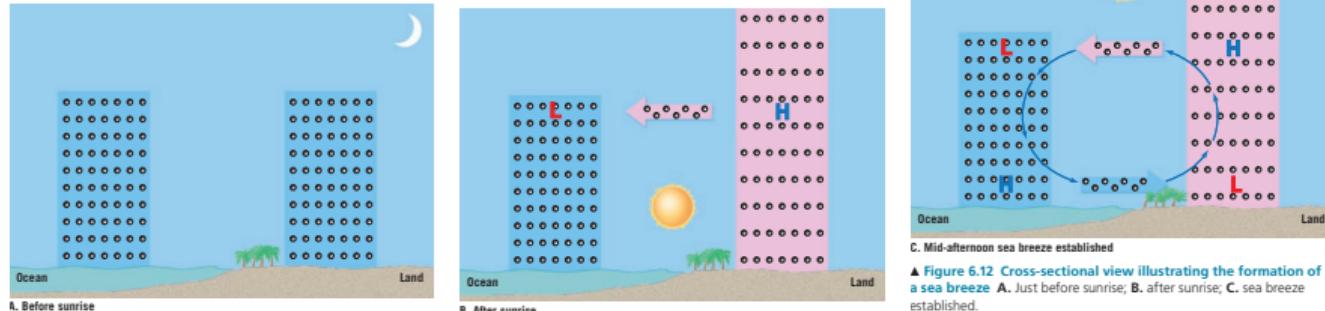
기압경도력(PGF, Pressure Gradient Force)

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



▲ Figure 6.12 Cross-sectional view illustrating the formation of a sea breeze A. Just before sunrise; B. after sunrise; C. sea breeze established.

Q) 온도 차이가 수평 기압 경도와 이에 따른 바람을 생성하는 과정을 '해풍'의 예로 설명하시오.

일출 후 육지는 기온 상승, 바다는 큰 변화 없음. 이에 따라 육지쪽 공기가 데워져서 팽창하고 밀도 감소. 특정 고도 위에서는 따뜻한 쪽의 공기가 차가운 쪽의 공기보다 기압이 높아짐. 이에 따라 상층에서는 육지에서 바다로 바람이 분다.

상층 바람으로 바다쪽에 공기가 많이 쌓이게 되어 지상 기압 상승하며, 반대로 육지쪽은 지상 기압 감소. 지상 부근에서는 바다에서 육지쪽으로 바람이 불게 됨. 완전한 순환을 위해 연직방향 운동도 존재함.

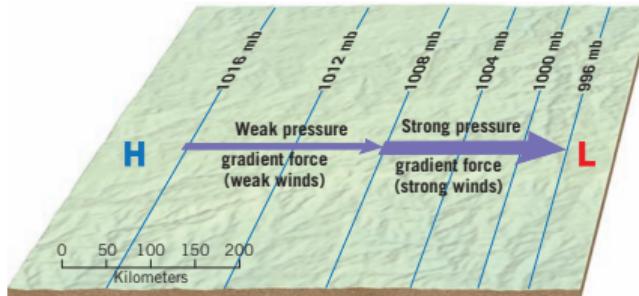
기압경도력(PGF)

기압과 바람

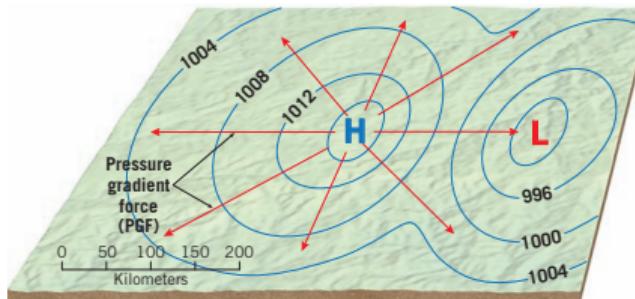
기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

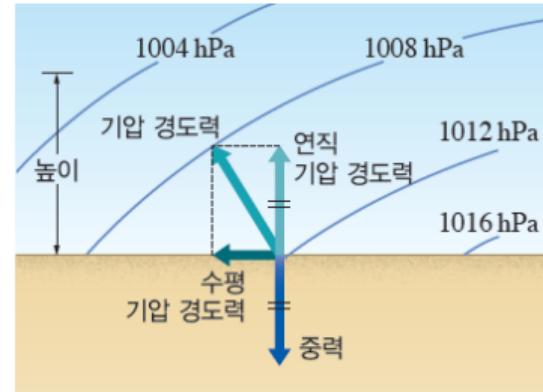
상층과 지상의
바람



A. Pressure gradient force when the isobars are nearly straight.



B. The pressure gradient force when the isobars are curved or form nearly concentric circles.



등압선의 간격이 좁을수록, 기압경도력이 크고, 바람이 강하다.

기압경도력은 등압선에 직각 방향으로 기압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 작용함

연직 기압경도력은 중력과 상쇄되므로, 바람을 일으키는 근본적인 힘은 수평 기압 경도력임.

기압의 차이에 의해 작용하는 힘으로 주로 수평 방향의 바람을 일으키는 근원적인 힘이다.

기압경도력(PGF)

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람

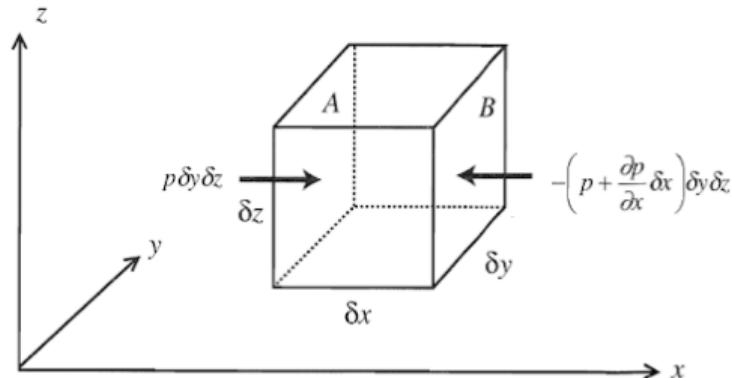


그림 6.1 미소한 부피에 미치는 기압 경도력의 x 성분

압력은 단위 면적에 수직으로 작용하는 힘으로 정의되므로 정육면체 공기덩이에 작용하는 힘은 기압과 힘을 받는 면의 넓이의 곱으로 표현할 수 있다.

단위 질량 당 기압경도력을 x, y, z 각 성분별로 단위 벡터 $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ 로 기압경도력을 표현하면

$$\frac{F_{PGF}}{m} = -\frac{1}{\rho} \nabla p$$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k}$$



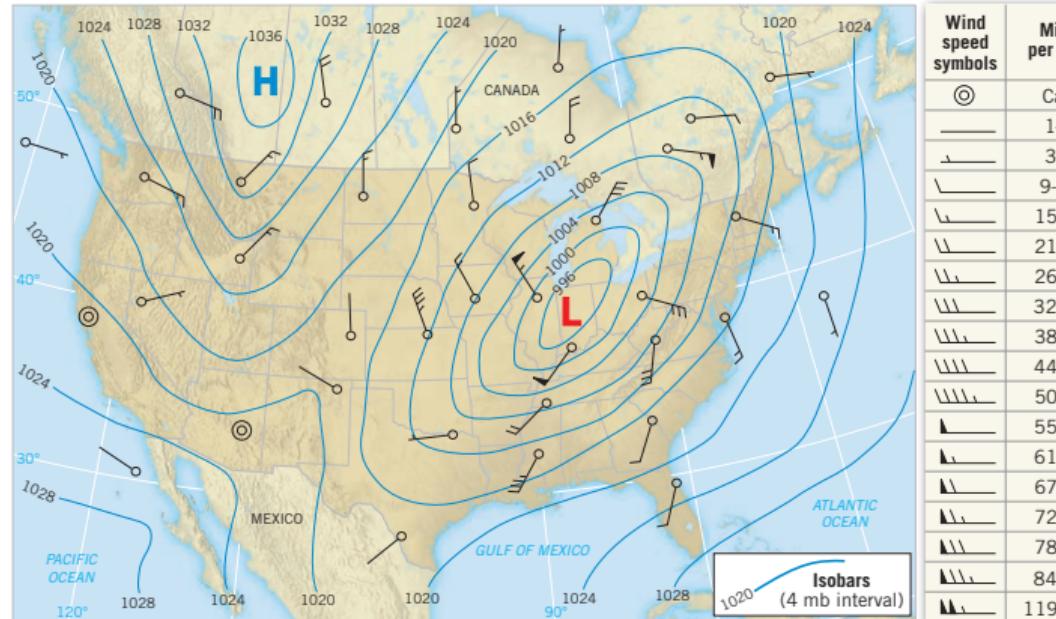
지상일기도에 표출된 등압선

기압과 바람

기압은 왜 변하는가

바람에 영향을 미치는 요소

상층과 지상의
바람



지상 일기도에서 등압선은 대개 완만한 곡선으로 나타남.

풍속의 단위로 노트(kn)를 많이 사용함. 1 kn는 1 시간에 1 해리(1852 m)를 달리는 속도 ($1 \text{ kn} = 0.51 \text{ m/s}$)

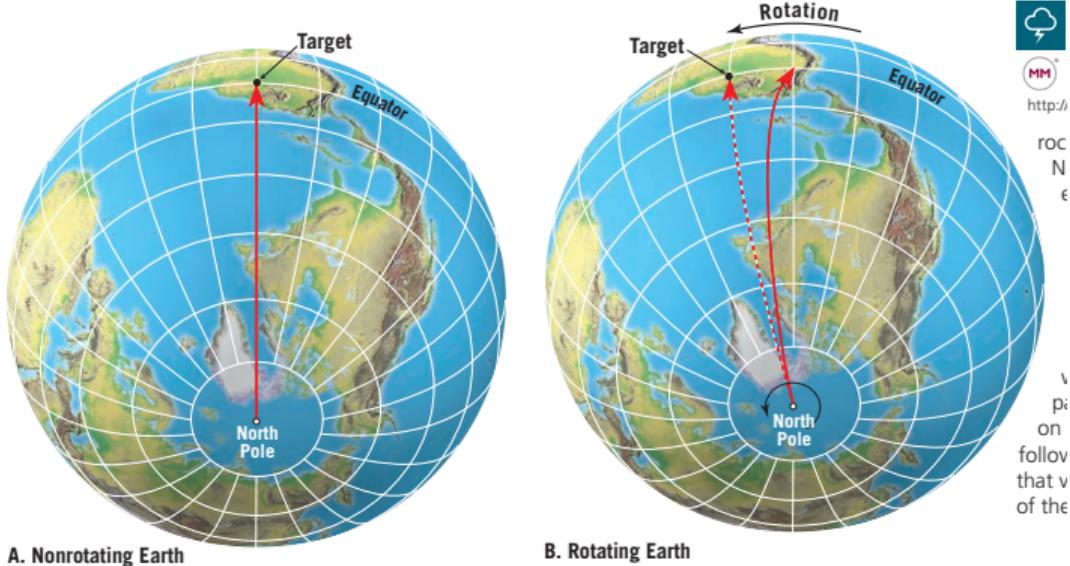
전향력(Coriolis force)

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



코리올리 힘 자체는 바람을 발생시키지 못하고, 대신 바람의 방향을 변화시킨다.
지구의 자전 때문에 북반구에서는 진행방향의 오른쪽 90도 방향으로 작용한다.
지구상에 서있는 관측자가 로켓을 관찰하면 목표지점의 서편에 도착하는 것을 보게 된다.

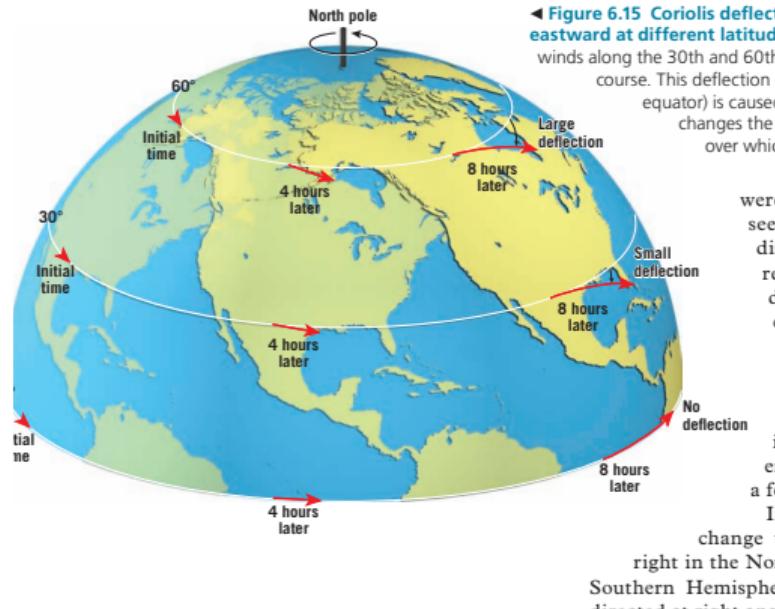
전향력

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



고위도일수록 전향력은 강하게 작용하며, 적도에서는 작용하지 않는다.

북위 60도에서 전향되는 거리는 북위 30도에 비해 크다.

적도에서는 휘어지지 않는다.

여기에서 $f = 2\Omega \sin \varphi$ 는 코리올리 인자이다.

$$\frac{F_{Cor}}{m} = 2v\Omega \sin \varphi$$

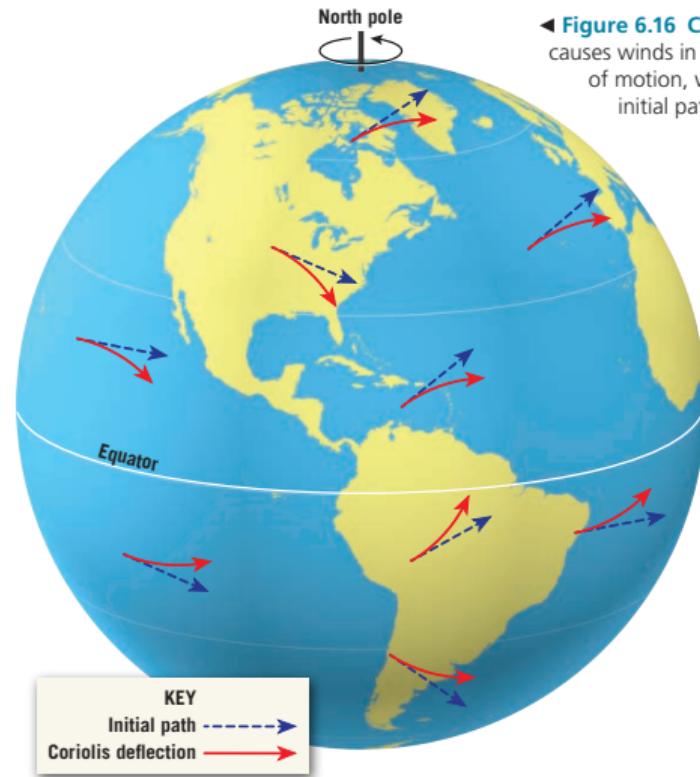
전향력

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



남반구에서는 전향력의 방향이 진행방향의 왼쪽 방향이 된다.

◀ **Figure 6.16** Corio
causes winds in the l
of motion, wher
initial path.

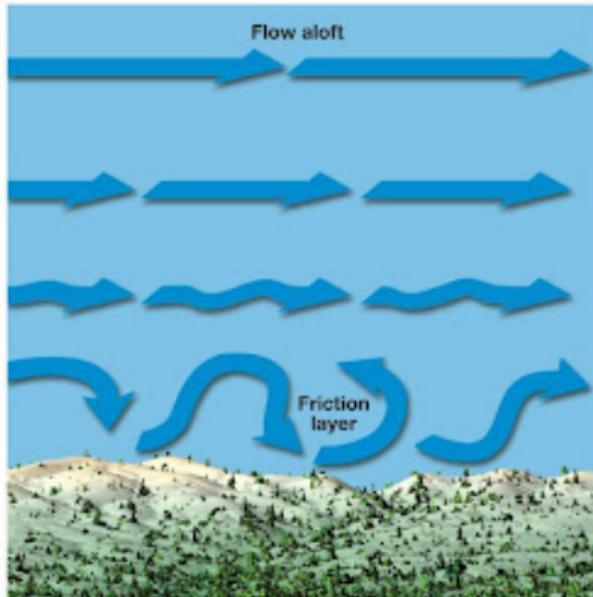
마찰력

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



(a)

© 2013 Pearson Education, Inc.

하

마찰력이 존재하기 때문에 바람이 무한히 강하게 발달하지 않는다.

지표 근처에서는 매우 중요하지만, 고도가 높아지면 무시 가능

경계층(약 고도 1.5km)에서만 중요



기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람

1 기압과 바람

2 기압은 왜 변하는가

3 바람에 영향을 미치는 요소

4 상층과 지상의 바람

상층 일기도

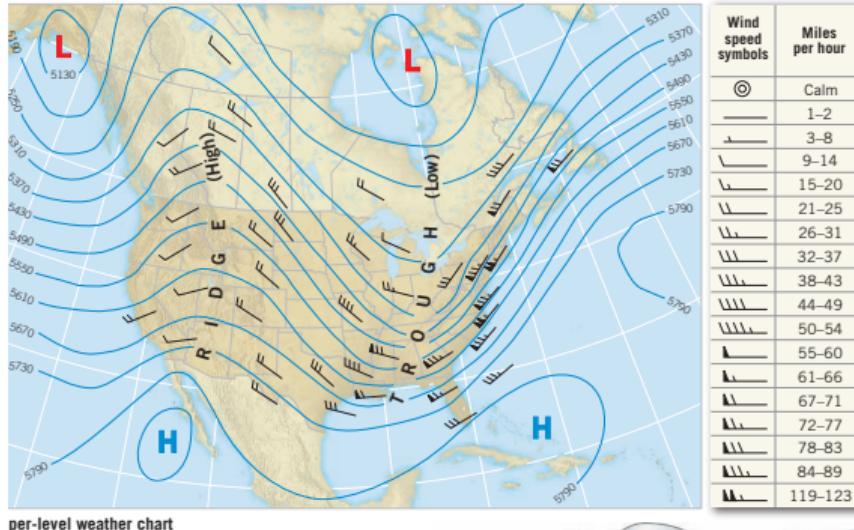
기압과 바람

기압은 왜
변하는가

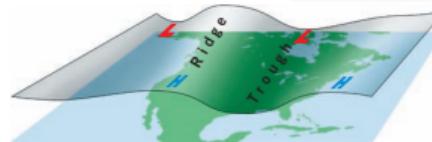
바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람

수



◀ **Figure 6.17 Simplified upper-air weather chart** This simplified weather chart shows the direction and speed of the upper-air winds. Note from the flags that the airflow is almost parallel to the contours. Like most other upper-air charts, this one shows variations in the height (in meters) at which a selected pressure (500 millibars) is found instead of showing variations in pressure at a fixed height, like surface maps. Places experiencing 500-millibar pressure at higher altitudes (toward the south on this map) are experiencing higher pressures than places where the height contours indicate lower altitudes. Thus, higher-elevation contours indicate higher pressures, and lower-elevation contours indicate lower pressures.



Highly a straight line and parallel to the isobars. This phenomenon, called **geostrophic balance**, is generated when a balance is reached between the Coriolis force (CF) and the pressure gradient force (PGF).

km 상층에서는 마찰력은 무시할 수 있다.

지균풍

기압과 바람

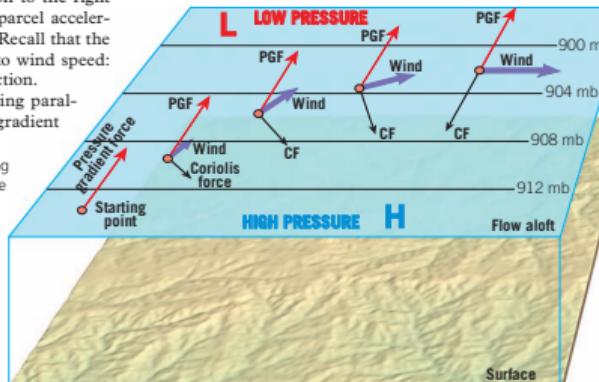
기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람

ing wind continues to flow parallel to the isobars at a constant speed. Stated another way, the wind is coasting (not accelerating or decelerating) along a pathway defined by the isobars.

Under these idealized conditions, when the Coriolis force is exactly equal in strength to the pressure gradient force,



상층에서 등압선이 직선일 때 부는 바람임.

등압선이 직선이므로 구심력(원심력)은 없음.

따라서, 기압경도력과 전향력이 균형을 이루어 등압선에 나란하게 바람이 분다. ⇒ 지균풍

기압경도력에 의해 고기압→저기압 방향으로 공기가 움직이기 시작하면 북반구에서는 전향력의 작용으로 공기의 운동방향이 오른쪽으로 휘어짐

기압경도력이 계속 작용하므로 공기의 속도는 더욱 빨라지며, 이에 따라 전향력도 더욱 커져서 공기의 운동방향이 더욱 오른쪽으로 휘어짐

결국, 기압경도력과 전향력이 균형을 이루어 등압선과 나란한 바람(지균풍)이 불게 됨.

Buy's Ballot's Law(보이스 발로트의 법칙) : 북반구에서 바람을 등지고 있는 경우 왼쪽에 저기압이, 오른쪽에 고기압이 있음

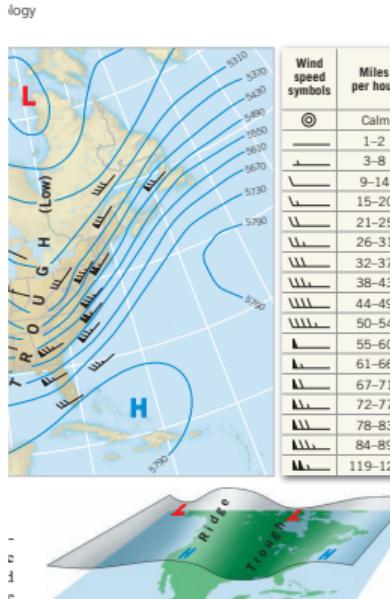
지균풍

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



◀ Figure 6.17 Simplified upper-air weather chart. This simplified weather chart shows the direction and speed of the upper-air winds. Note from the flags that the airflow is almost parallel to the contours. Like most other upper-air charts, this one shows variations in the height (in meters) at which a selected pressure (500 millibars) is found instead of showing variations in pressure at a fixed height, like surface maps. Places experiencing 500-millibar pressure at higher altitudes (toward the south on this map) are experiencing higher pressures than places where the height contours indicate lower altitudes. Thus, higher-elevation contours indicate higher pressures, and lower-elevation contours indicate lower pressures.

strophic winds. ed by the pressure near the bot- he top. Initially lis force is non- ident force, the pressure to the ns to move, the force is exactly balanced by the opposing Coriolis force (Figure 6.18). As long as these forces remain balanced, the resulting wind continues to flow parallel to the isobars at a constant speed. Stated another way, the wind is coasting (not accelerat- ing or decelerating) along a pathway defined by the isobars. Under these idealized conditions, when the Coriolis force is exactly equal in strength to the pressure gradient force,

Q) 북반구 30° 지역에서 4 hPa 차이로 그린 등압선 간격이 400 km이다. 공기의 밀도가 1 g m^{-3} 일 때, 지균풍의 풍속을 구하시오.

지균풍

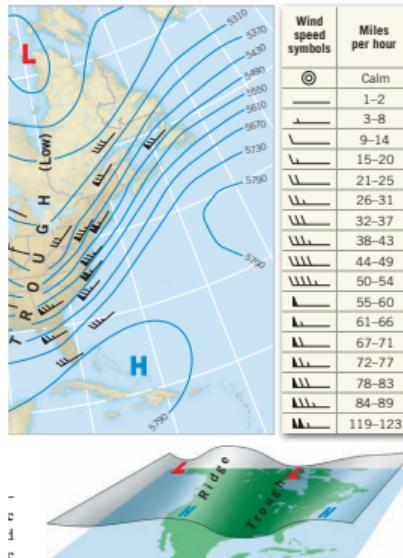
기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람

logy



◀ Figure 6.17 Simplified upper-air weather chart. This simplified weather chart shows the direction and speed of the upper-air winds. Note from the flags that the airflow is almost parallel to the contours. Like most other upper-air charts, this one shows variations in the height (in meters) at which a selected pressure (500 millibars) is found instead of showing variations in pressure at a fixed height, like surface maps. Places experiencing 500-millibar pressure at higher altitudes (toward the south on this map) are experiencing higher pressures than places where the height contours indicate lower altitudes. Thus, higher-elevation contours indicate higher pressures, and lower-elevation contours indicate lower pressures.

strophic winds. ed by the pressure near the bot- he top. Initially lis force is non- ident force, the pressure to the ns to move, the force is exactly balanced by the opposing Coriolis force (Figure 6.18). As long as these forces remain balanced, the resulting wind continues to flow parallel to the isobars at a constant speed. Stated another way, the wind is coasting (not accelerat- ing or decelerating) along a pathway defined by the isobars. Under these idealized conditions, when the Coriolis force is exactly equal in strength to the pressure gradient force,

Q) 북반구 30° 지역에서 4 hPa 차이로 그린 등압선 간격이 400 km이다. 공기의 밀도가 1 g m^{-3} 일 때, 지균풍의 풍속을 구하시오.

13.71 m/s

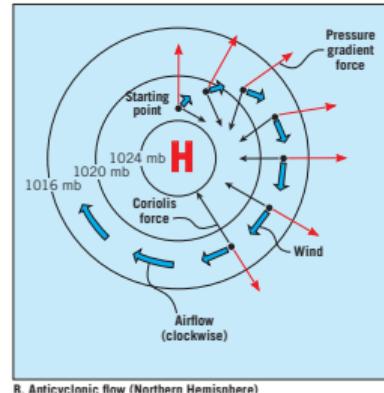
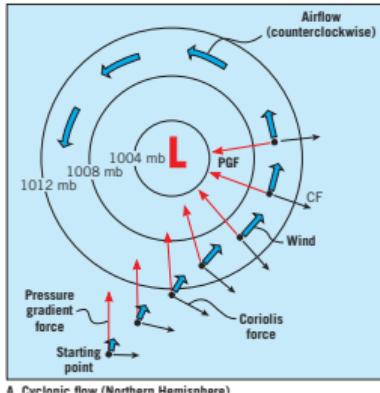
경도풍(Gradient wind)

기압과 바람

기압은 왜
변하는가

바람에 영향을
미치는 요소

상층과 지상의
바람



상층에서 곡선의 등압선을 따라 일정한 속력으로 부는 바람으로, 기압경도력과 전향력의 차이가 구심력으로 작용한다.

고기압성 경도풍의 경우

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} - fv = \frac{v^2}{r}$$

$$fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} - \frac{v^2}{r}$$

저기압성 경도풍의 경우

$$fv + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{v^2}{r}$$

$$fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} + \frac{v^2}{r}$$