

# SGS6833: 대기과학

---

5주 차 강의자료

# 지난 시간

---

- 강수
  - 응결, 충돌/병합, 빙정
- 기압과 바람
  - 기압의 의미
  - 바람을 불게 하는 힘들: 기압경도력, 코리올리 힘

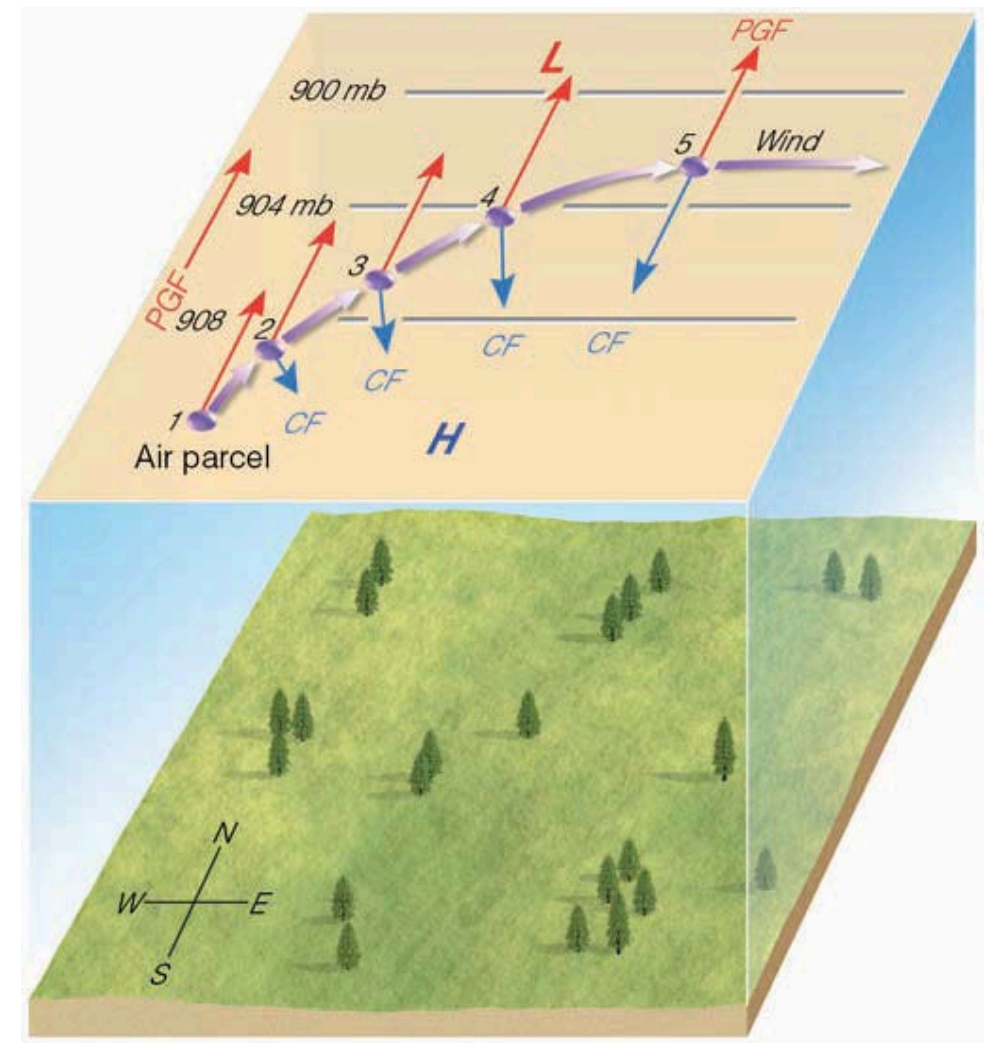
# 오늘의 내용

---

- 기압과 바람 II

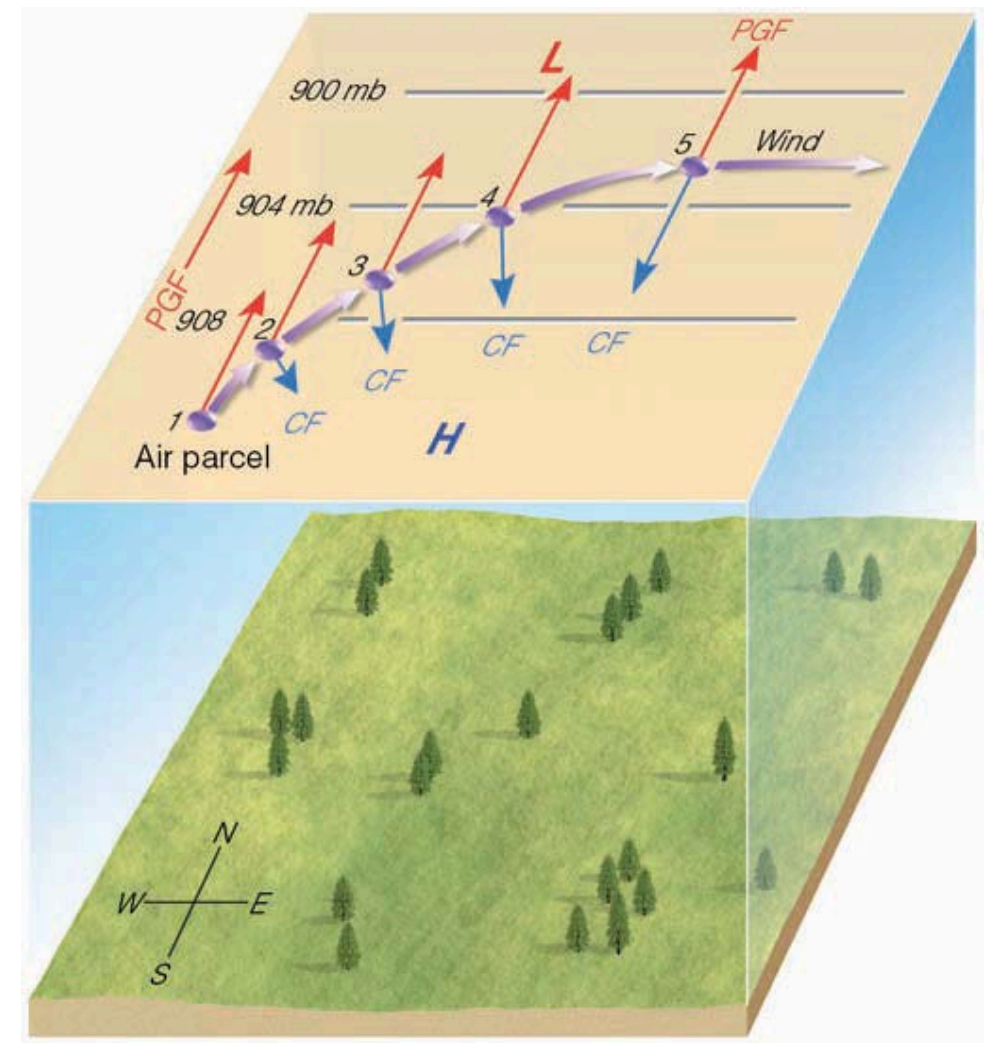
# 지균풍

- 큰 규모를 고려한다면, 마찰이 없는 상공에서 부는 바람의 경우 기압경도력과 코리올리힘이 바람의 흐름을 결정함
- 코리올리 힘은 움직이는 물체의 속도에 비례함.
- 기압차이가 있는 곳에서 처음 움직이지 않는 물체가 느끼는 힘은 기압경도력
- 움직이기 시작하면서 코리올리 힘을 느낌.
- 코리올리 힘은 북반구에서 움직이는 방향의 오른쪽으로 작용

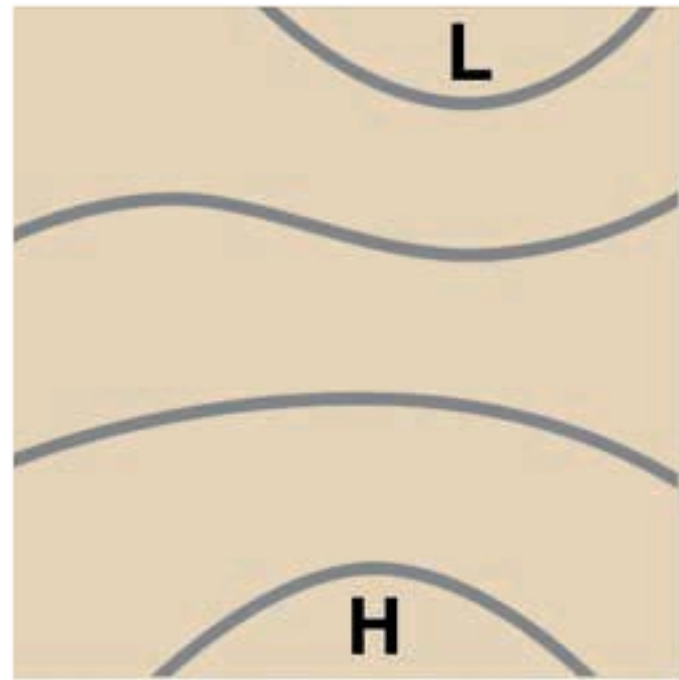


# 지균풍

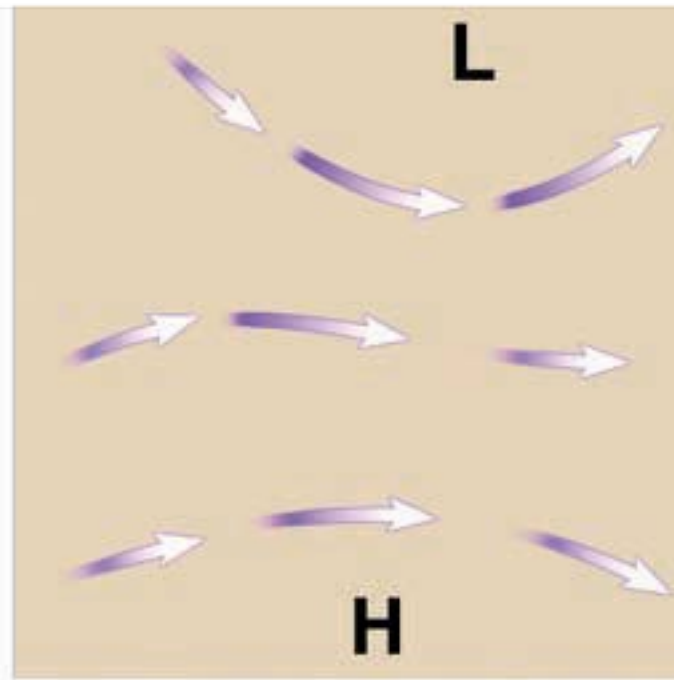
- 총 힘의 합이 0이 아닌 이상, 바람은 가속을 함
- 코리올리 힘도 커지며 바람은 점점 등압선과 평행하게 됨
- 바람은 결국 등압선과 평행하게 불며, 기압경도력과 코리올리 힘이 균형을 이룸
- 총 힘의 합이 0이 되므로 바람은 가속하지 않음.
- 지균풍이라고 함



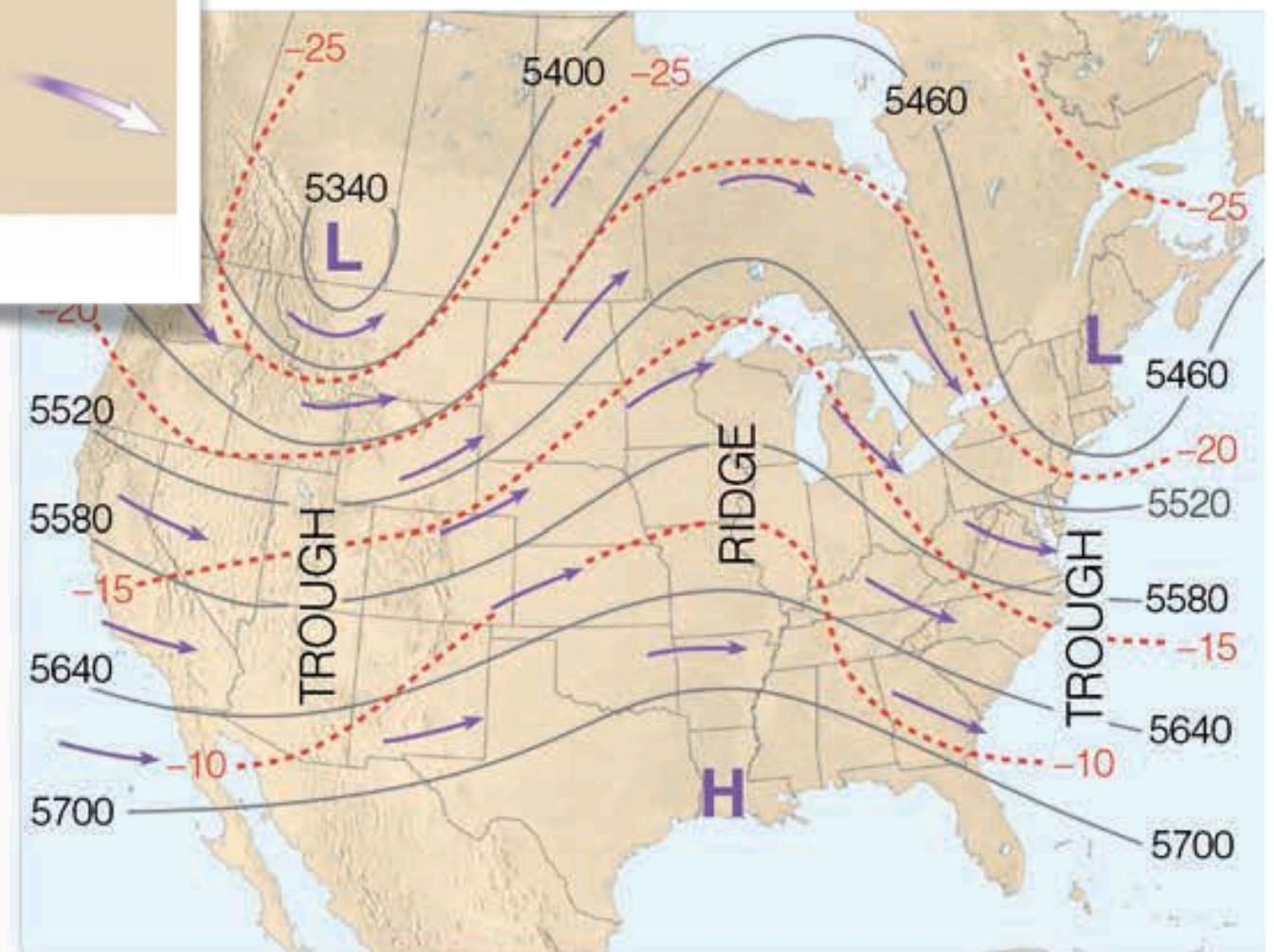
# 지균풍



(a) Isobar or contour pattern



(b) Wind pattern



(b) Upper-air map (500 mb)

# 지균풍

---

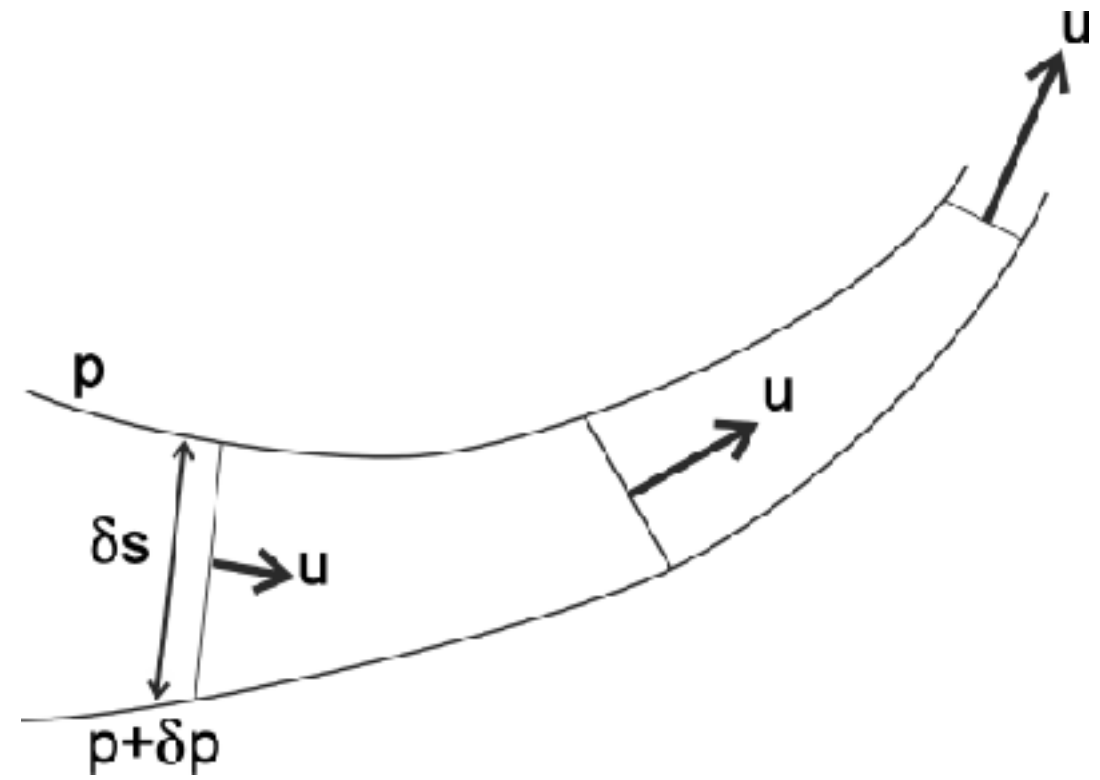
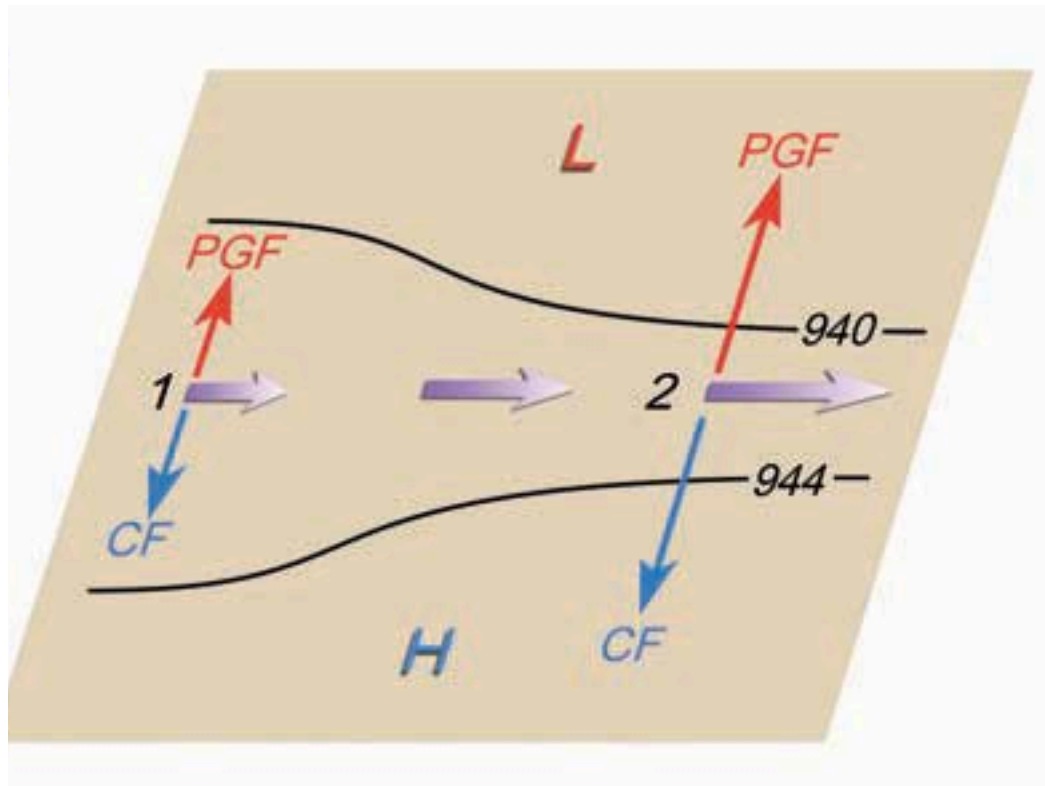
- 지균풍을 식으로 표현한다면?
  - 기압경도력 : 수평방향으로의 기압의 차이에 의한 힘

$$\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta d} \longrightarrow \text{단위질량에 대한 기압경도력}$$

- 코리올리 힘 : 지구 자전에 의한 힘  $2\Omega v \sin \phi = fv$
- 지균풍,  $\left| v_g \right| \sim \frac{1}{f\rho} \frac{\Delta p}{\Delta d} \rightarrow$  지균풍은 기압차이가 클 수록, 거리가 짧을수록 빠름



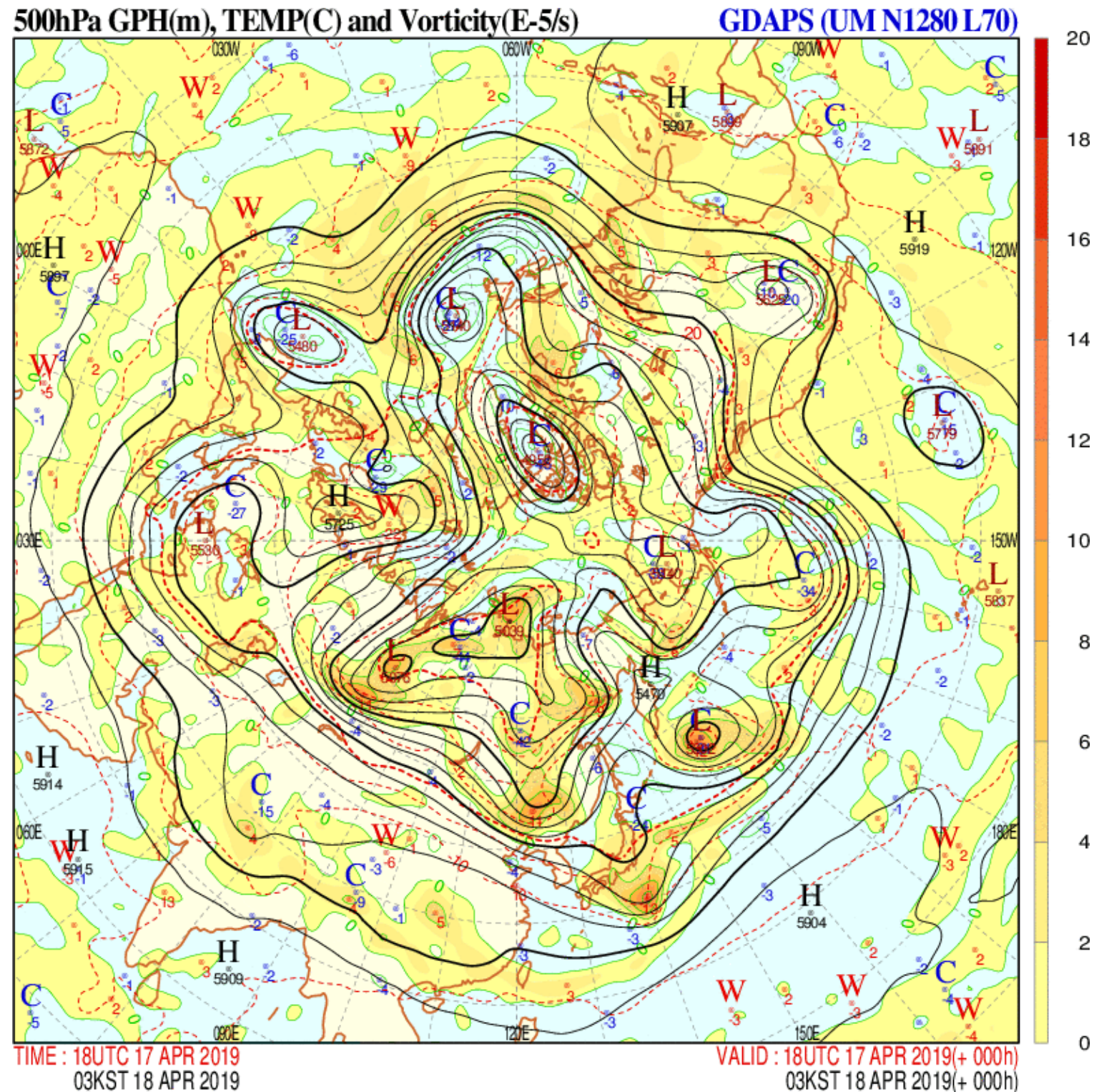
# 지균풍





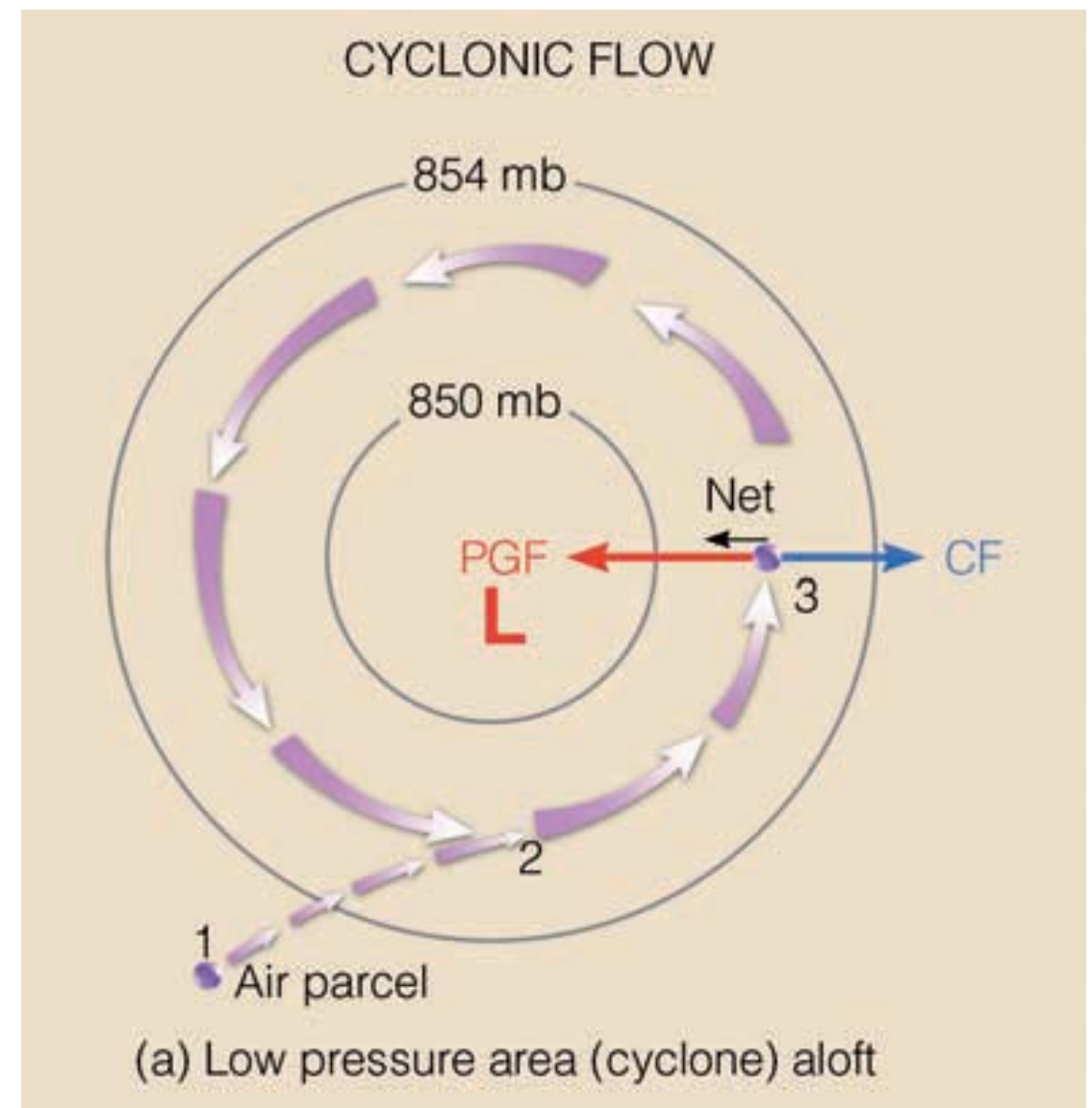
# 지균풍

- 등압선은 때때로 휘어져 존재함.
- 사이클론 (cyclone) : 중심에 저기압이 존재하는 원형의 등압선
- 안티사이클론 (anticyclone) : 중심에 고기압이 존재하는 원형의 등압선



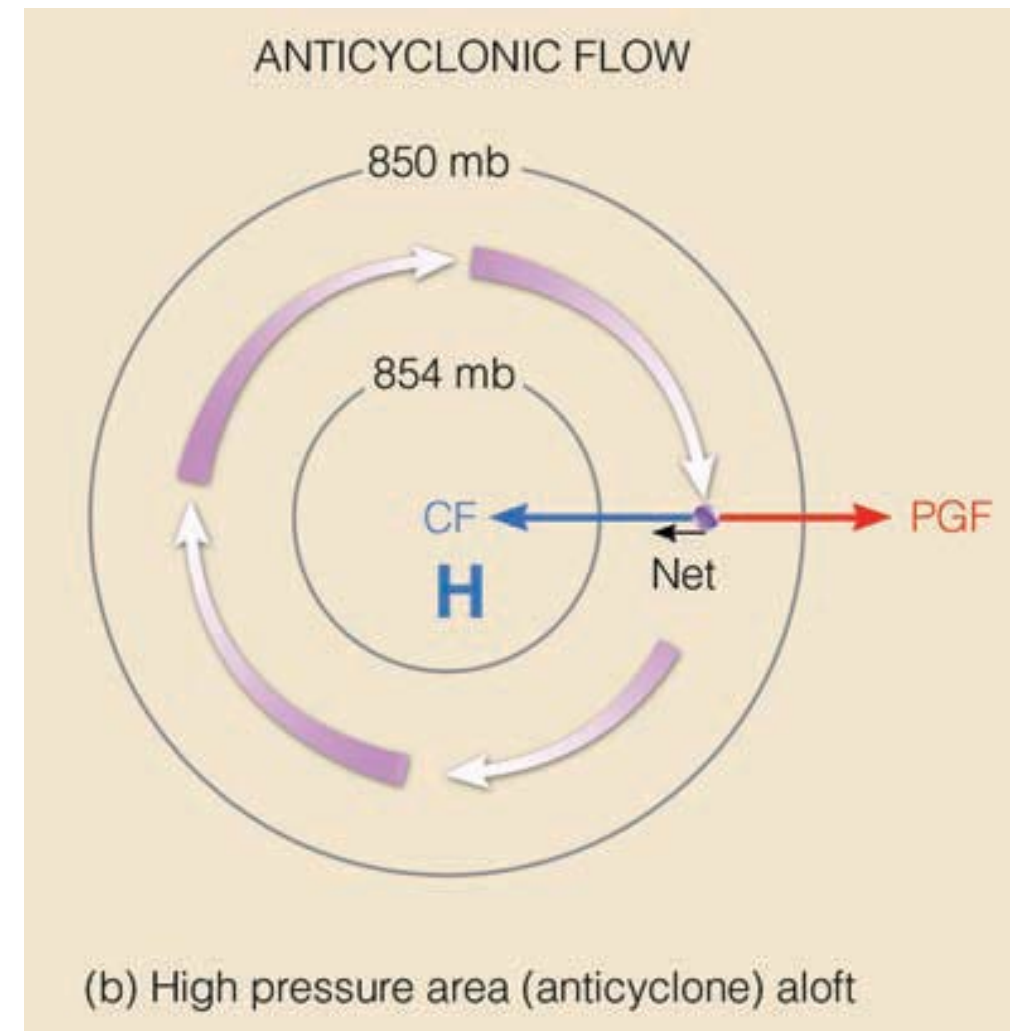
# 지균풍

- 사이클론 (cyclone) : 중심에 저기압이 존재하는 원형의 등압선
- 바람이 계속 변하므로, 총 힘의 합이 0이 아님
- 바람의 방향 변환이 저기압쪽으로 힘이 작용함을 암시함
- 이 힘을 구심력이라고 함 ( $\frac{v^2}{r}$ )
- 기압경도력이 코리올리 힘보다 큼
- 작은 원형의 등압선은 구심력이 큼



# 지균풍

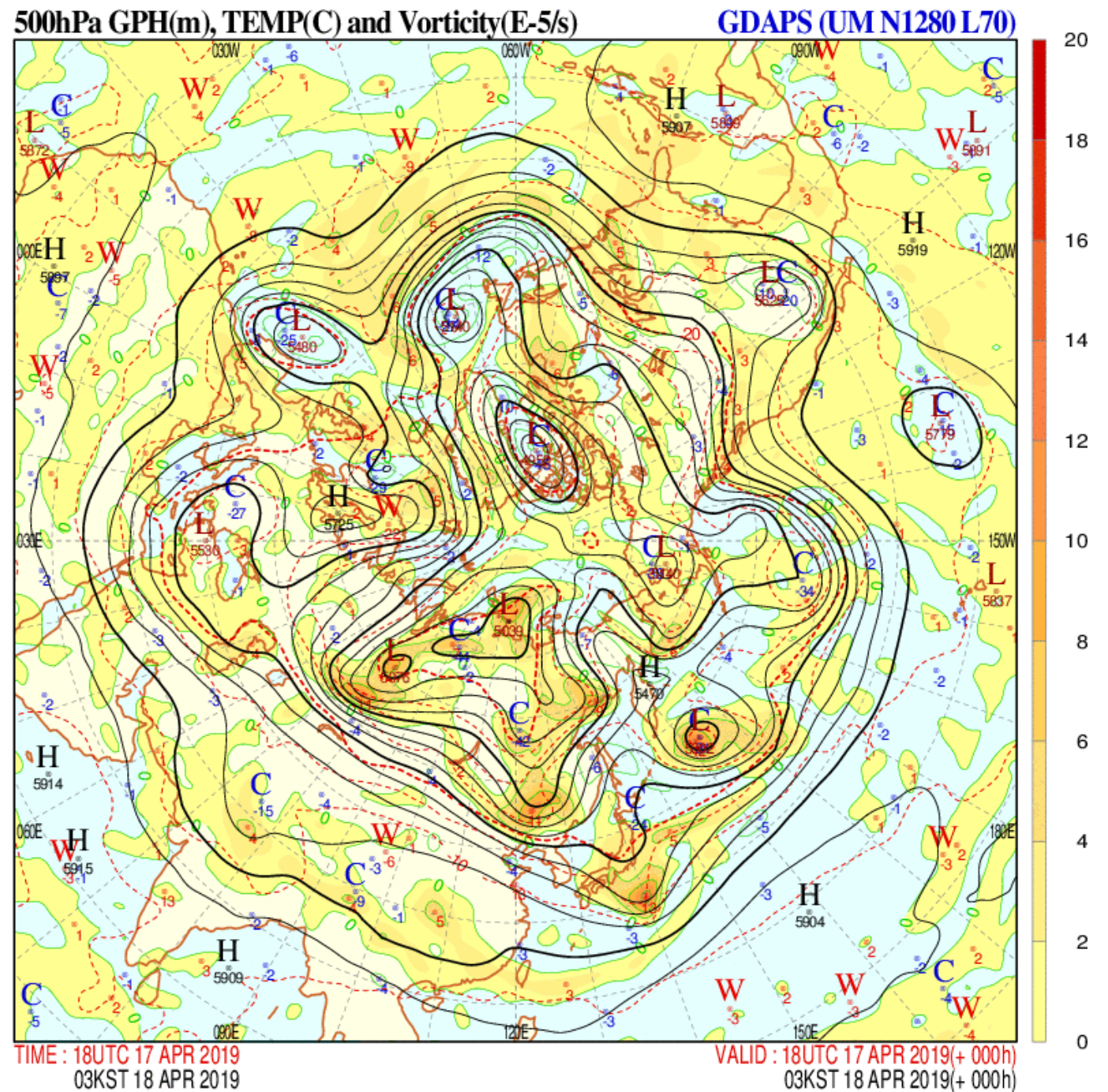
- 안티사이클론 (anticyclone) : 중심에 고기압이 존재하는 원형의 등압선
- 바람이 계속 변하므로, 총 힘의 합이 0이 아님
- 바람의 방향 변환이 고기압쪽으로 힘이 작용함을 암시함
- 만약 등압선 간격이 앞과 같다면, 기압경도력은 앞과 동일
- 코리올리 힘이 앞의 경우보다 큼
- 바람이 빠를 것으로 예상





# 지균풍

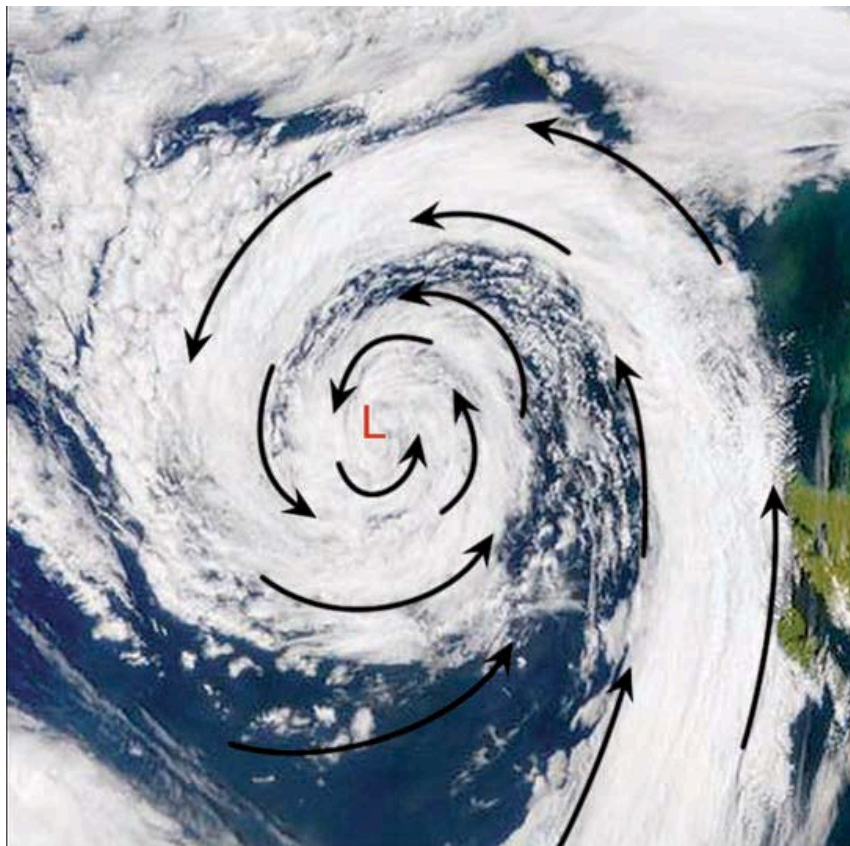
- 만약 저기압과 고기압 주변에 같은 세기의 기압경도력이 있다면 고기압 주변의 바람이 강해야 함
- 하지만 관측에 의하면, 저기압 주변의 바람이 강함
- 이는 저기압 주변의 기압경도력이 크기 때문.



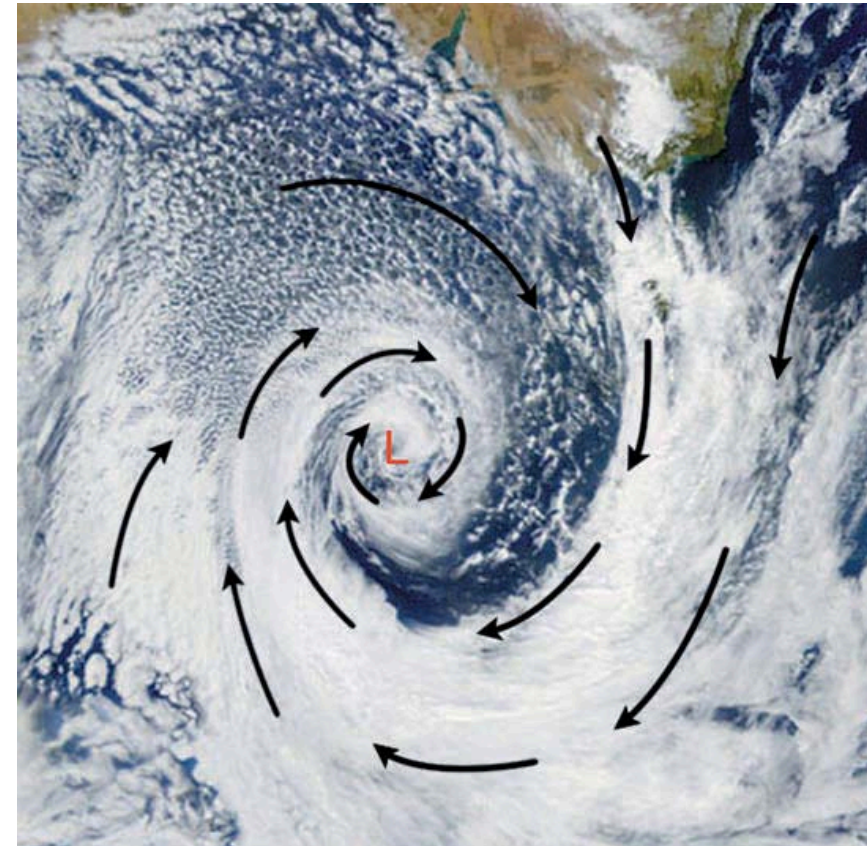


# 지균풍

- 남반구에서는 코리올리 힘의 방향이 바람의 왼쪽.
- 바람의 회전 방향이 반대임 (하지만, 공기의 특성은 같음)
  - 저기압 : 차가운 공기
  - 고기압 : 따뜻한 공기



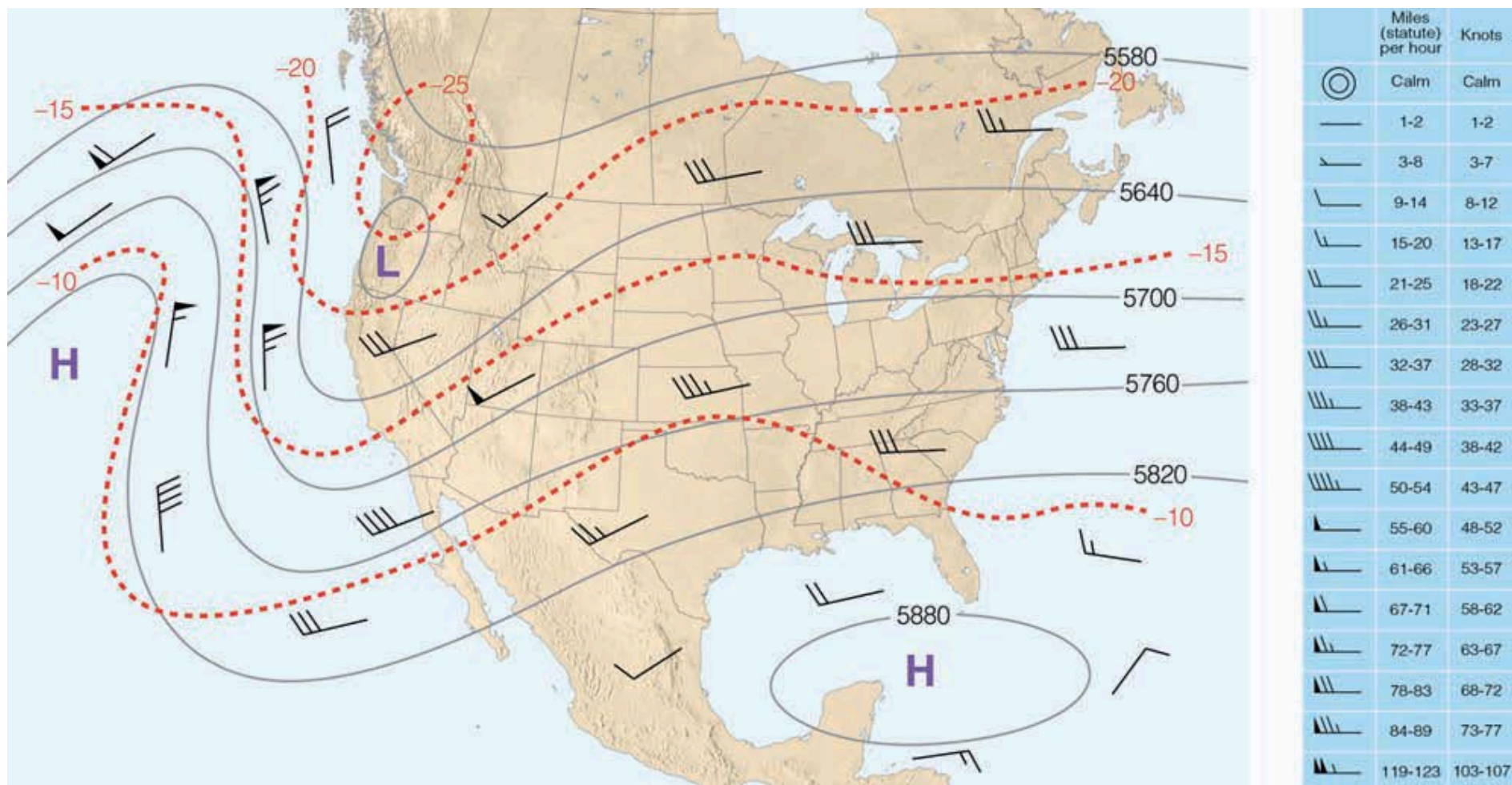
(a) Northern Hemisphere



(b) Southern Hemisphere

# 지균풍과 온도

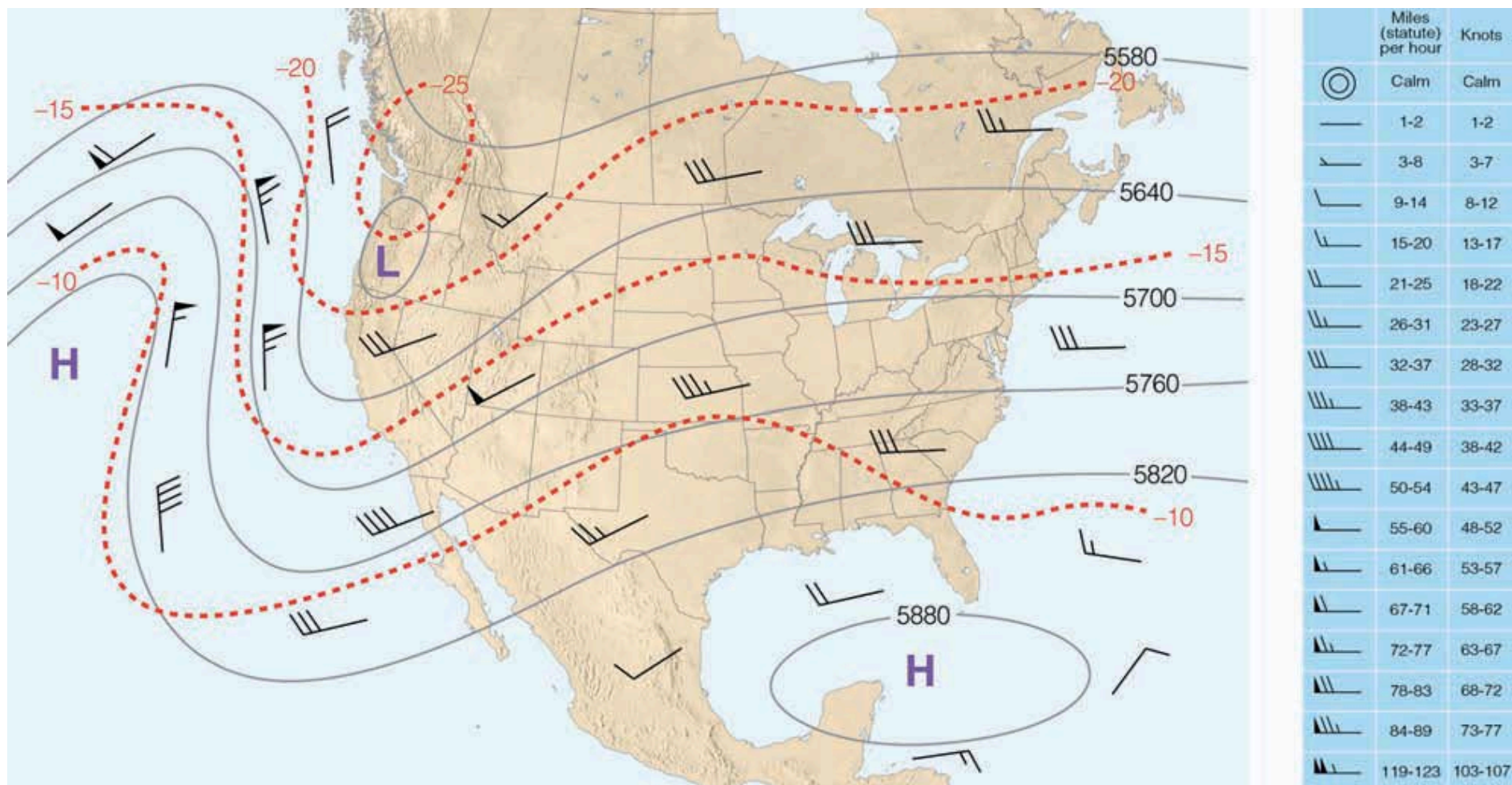
- 상공에서는 등압선 대신, 등압면의 고도를 표시함
- 등압면의 고도가 높은 곳이 곧 압력이 높음
- 즉, 지균풍은 등압면의 고도선에 평행하게 형성





# 지균풍과 온도

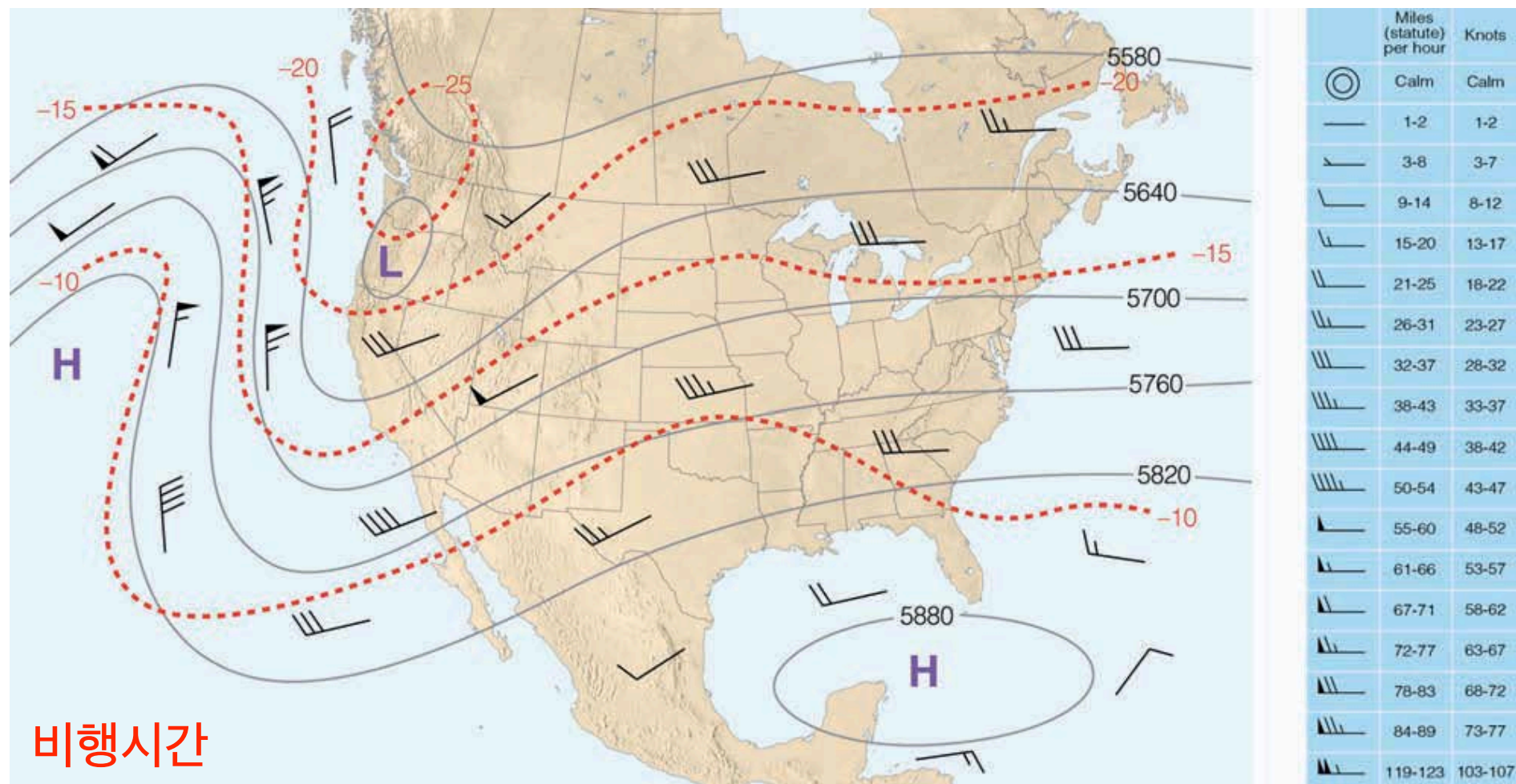
- 따뜻한 곳의 공기는 팽창을 함
- 이로 인해 등압면의 고도가 상승
- 즉 등압면의 고도, 온도 모두 등압선의 형태를 나타냄





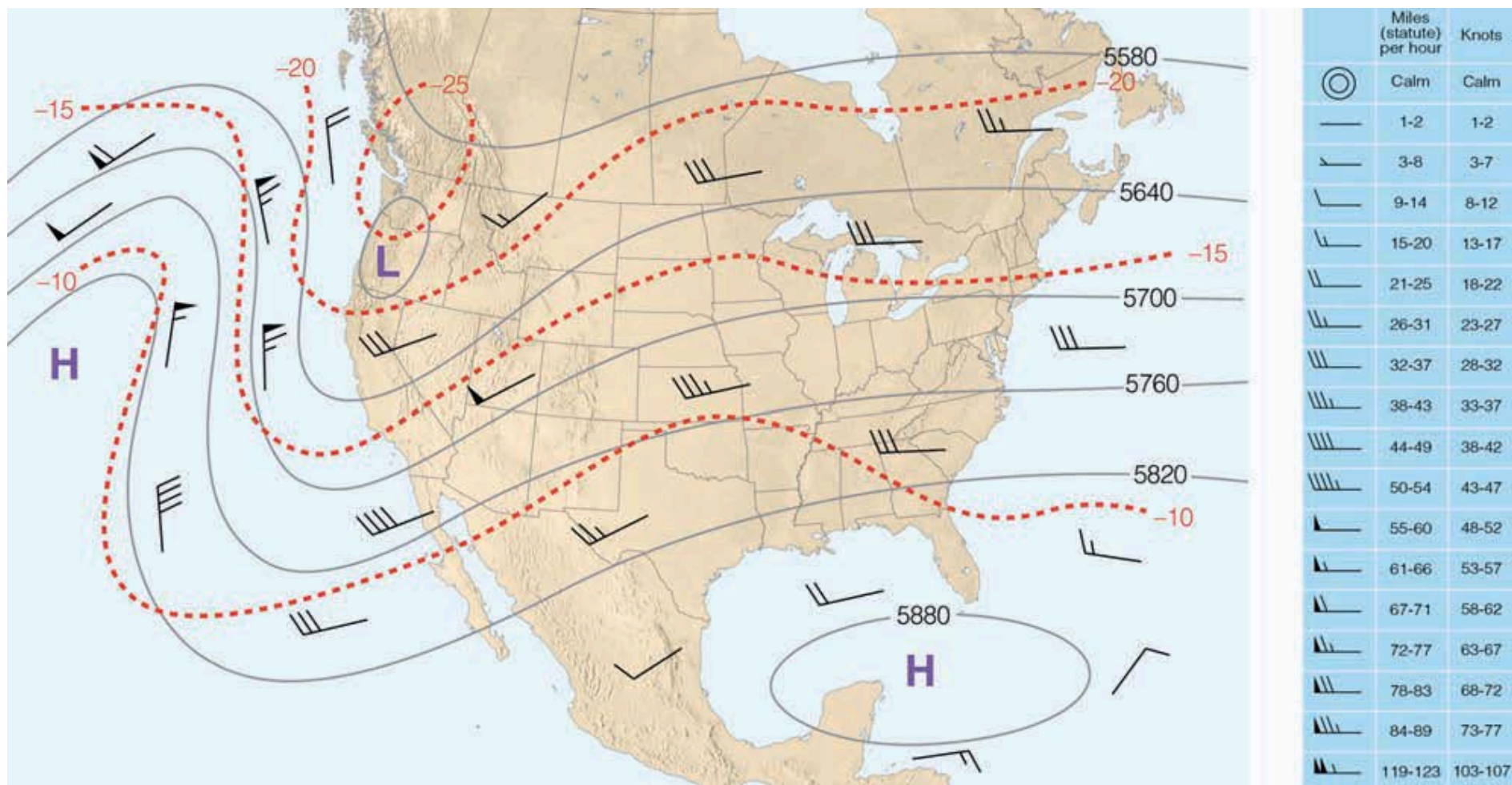
# 지균풍과 온도

- 온도의 분포는 적도 쪽이 따뜻하고 극 쪽이 차가움
- 등압선의 고도 역시 적도쪽이 높고 극 쪽이 낮음
- 따라서 바람은 주로 서쪽에서 동쪽으로 흐름 (남반구에도 적용)



# 지균풍과 온도

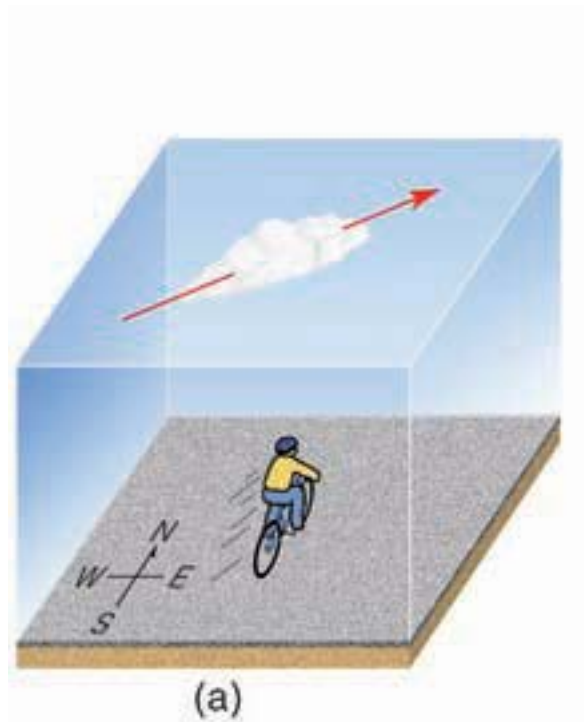
- 온도의 차이가 심하면 등압면의 고도변화도 심할 것으로 예상
- 즉 등압선의 간격이 좁은 셈이 되어 바람이 강함
- 온도변화가 남-북 방향으로 심한 겨울철 바람이 강한 이유



# 지균풍

---

- 구름의 움직임을 보고 압력 분포 추정하기
  - 구름이 지균풍을 따라 움직인다고 가정하면..
  - 편서풍을 생각하면, 온도의 변화도 예상해 볼 수 있음!



# 지상의 바람

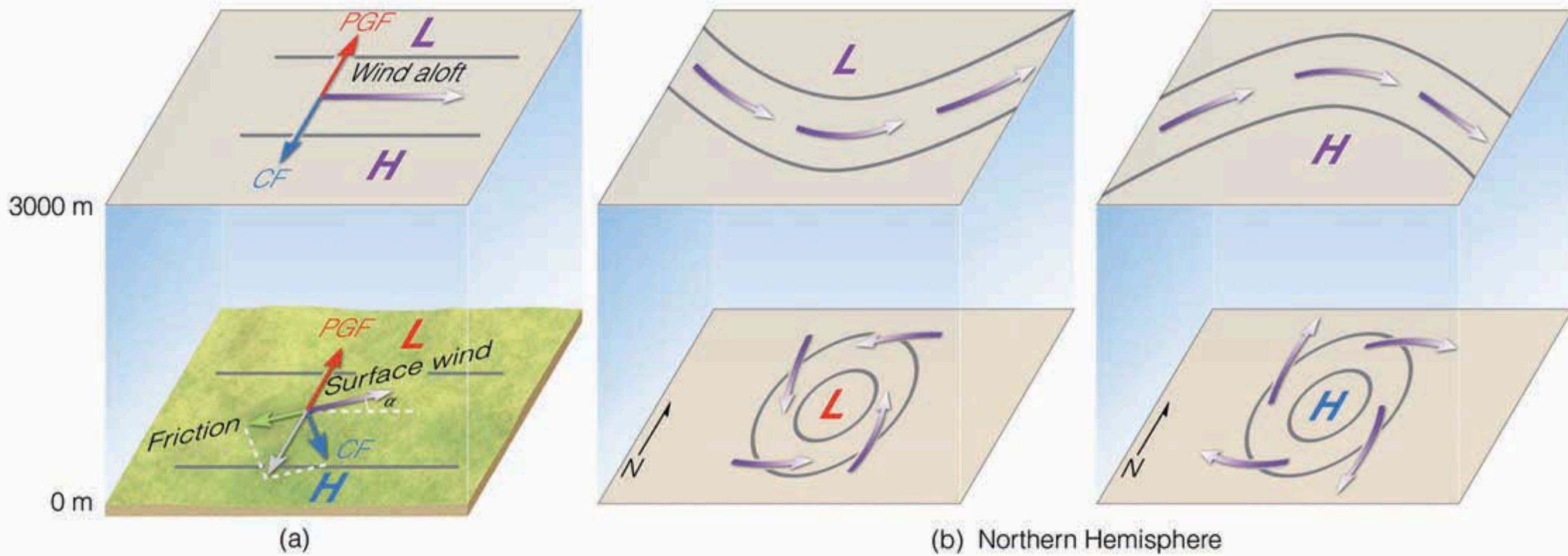
---

- 지상에서는 바람이 마찰력을 받음
- 지상에서 멀어질 수록 바람은 마찰력을 작게 느낌
  - 지상 1000m 까지도 마찰력의 영향을 받기도 함
- 마찰력은 항상 바람의 반대방향으로 작용하며 바람의 속도를 늦춤
- 지상에서의 바람은 기압경도력, 코리올리 힘 그리고 마찰력이 균형을 이루려고 함 (균형을 이루지 못하면 바람은 가속 혹은 방향 전환을 할 것임)



# 지상의 바람

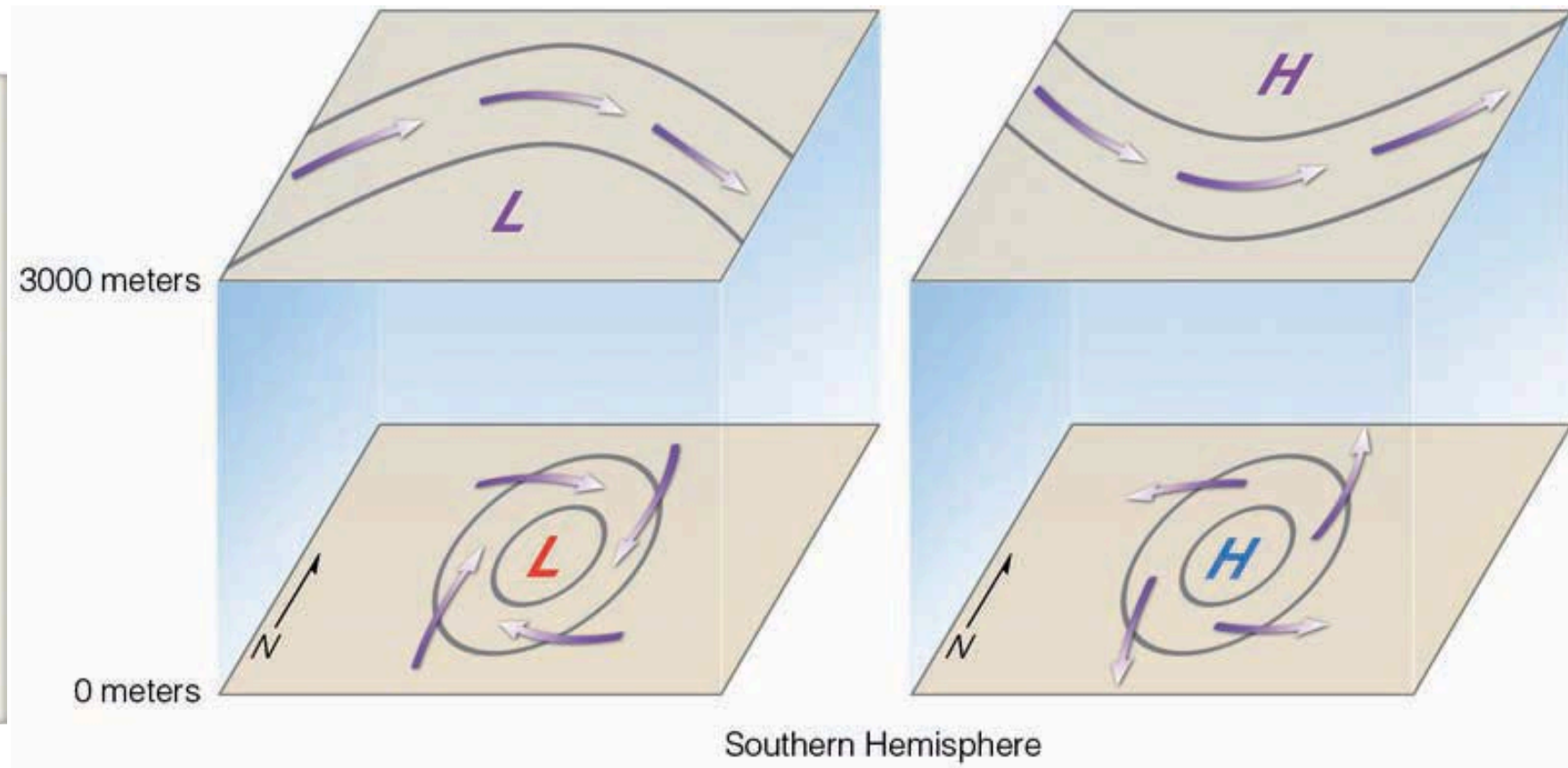
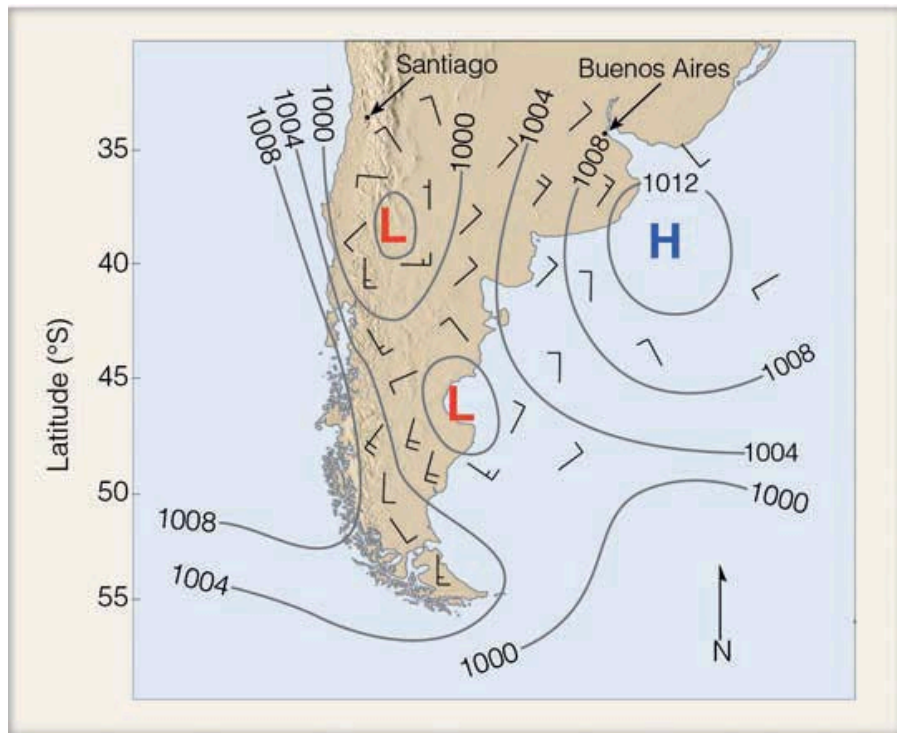
## 북반구



지상에서 바람은 등압선을 가로지르며 분다.

# 지상의 바람

## 남반구



지상에서 바람은 등압선을 가로지르며 분다.

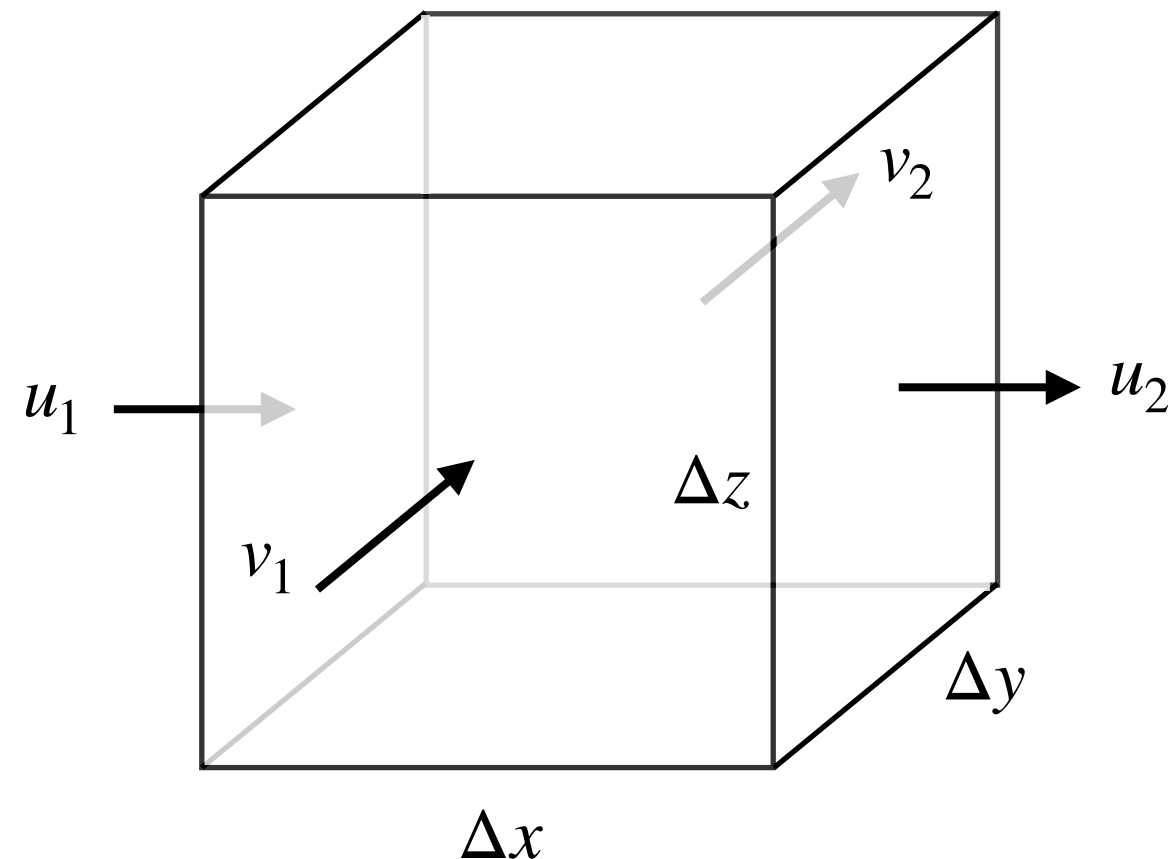
# 연직 흐름

- 수렴과 발산
  - 공기가 모이면 수렴이라고 하고, 흩어지면 발산이라고 함
  - 수렴을 식으로 표현하면,

$$\frac{u_2 - u_1}{\Delta x} + \frac{v_2 - v_1}{\Delta y} < 0$$

- 발산을 식으로 표현하면,

$$\frac{u_2 - u_1}{\Delta x} + \frac{v_2 - v_1}{\Delta y} > 0$$

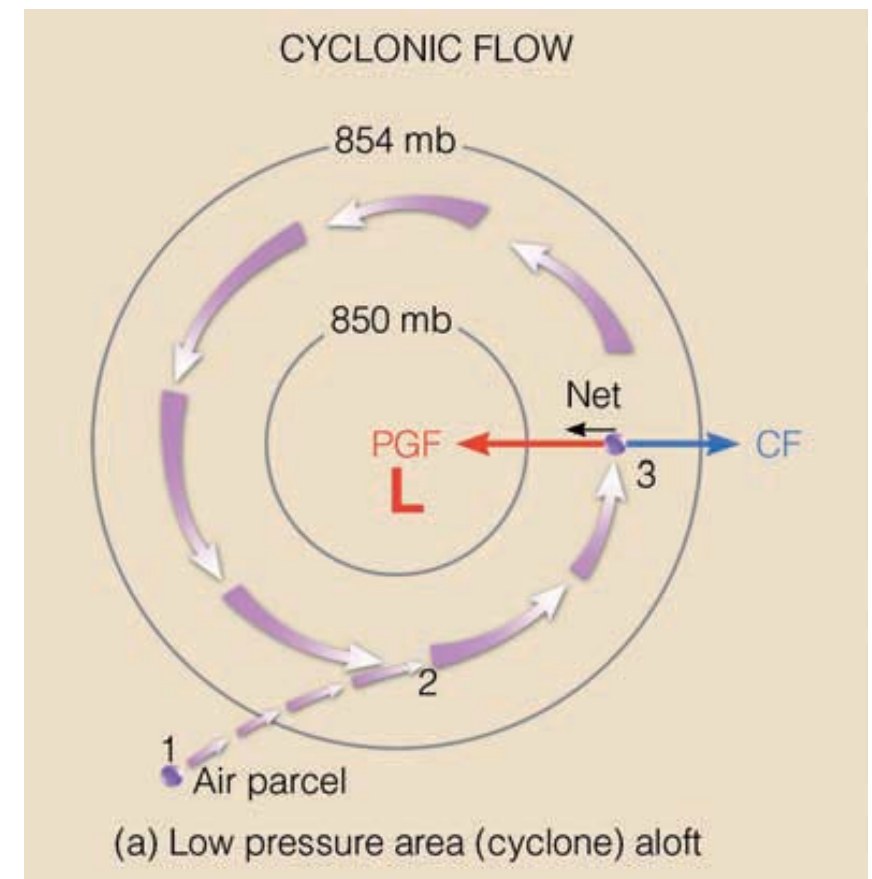
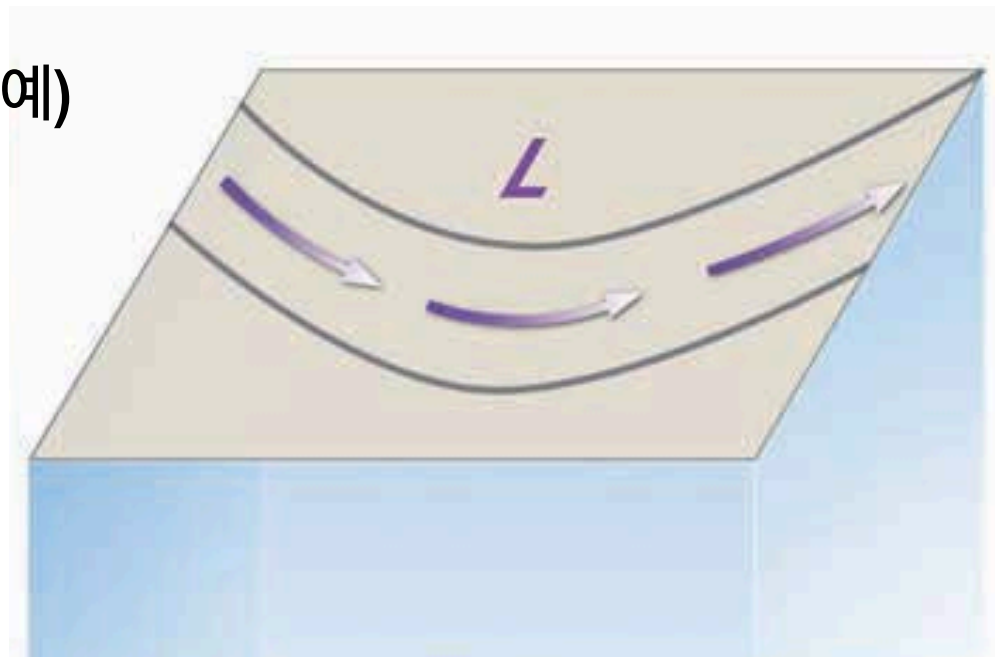




# 연직 흐름

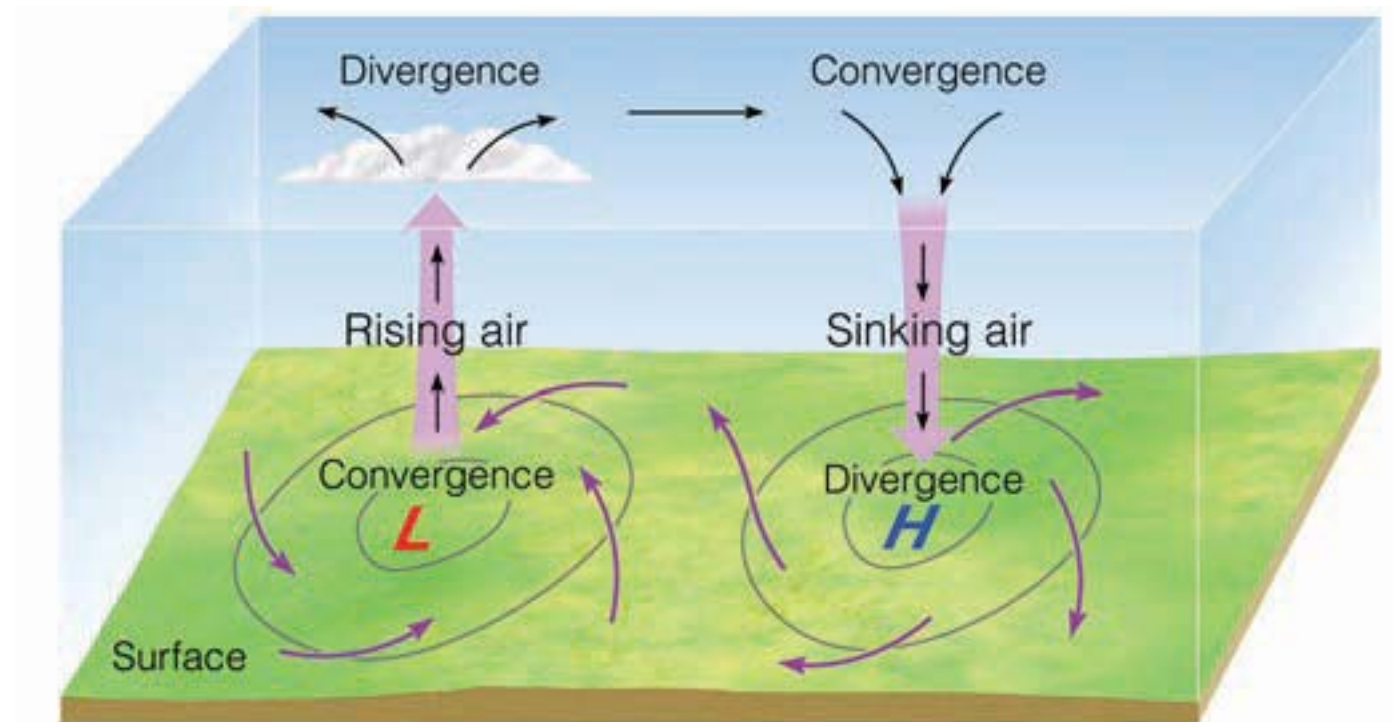
- 공기의 질량은 보존되어야 하므로, 수렴이 있으면 상승 흐름이 있고, 발산이 있을 땐 하강 흐름이 발생
- 지균풍의 경우,  $\frac{u_2 - u_1}{\Delta x} + \frac{v_2 - v_1}{\Delta y} = 0$
- 따라서 지균풍에 의한 연직 흐름은 없음

(예)



# 연직 흐름

- 지상의 바람의 경우,  $\frac{u_2 - u_1}{\Delta x} + \frac{v_2 - v_1}{\Delta y} \neq 0$
- 따라서 지상의 바람은 연직 흐름을 만들 수 있음
- 지상의 수렴/발산은 상층의 발산/수렴과 연결됨
- 저기압은 상승 흐름
- 고기압은 하강 흐름



# 연직 방향의 기압경도력

---

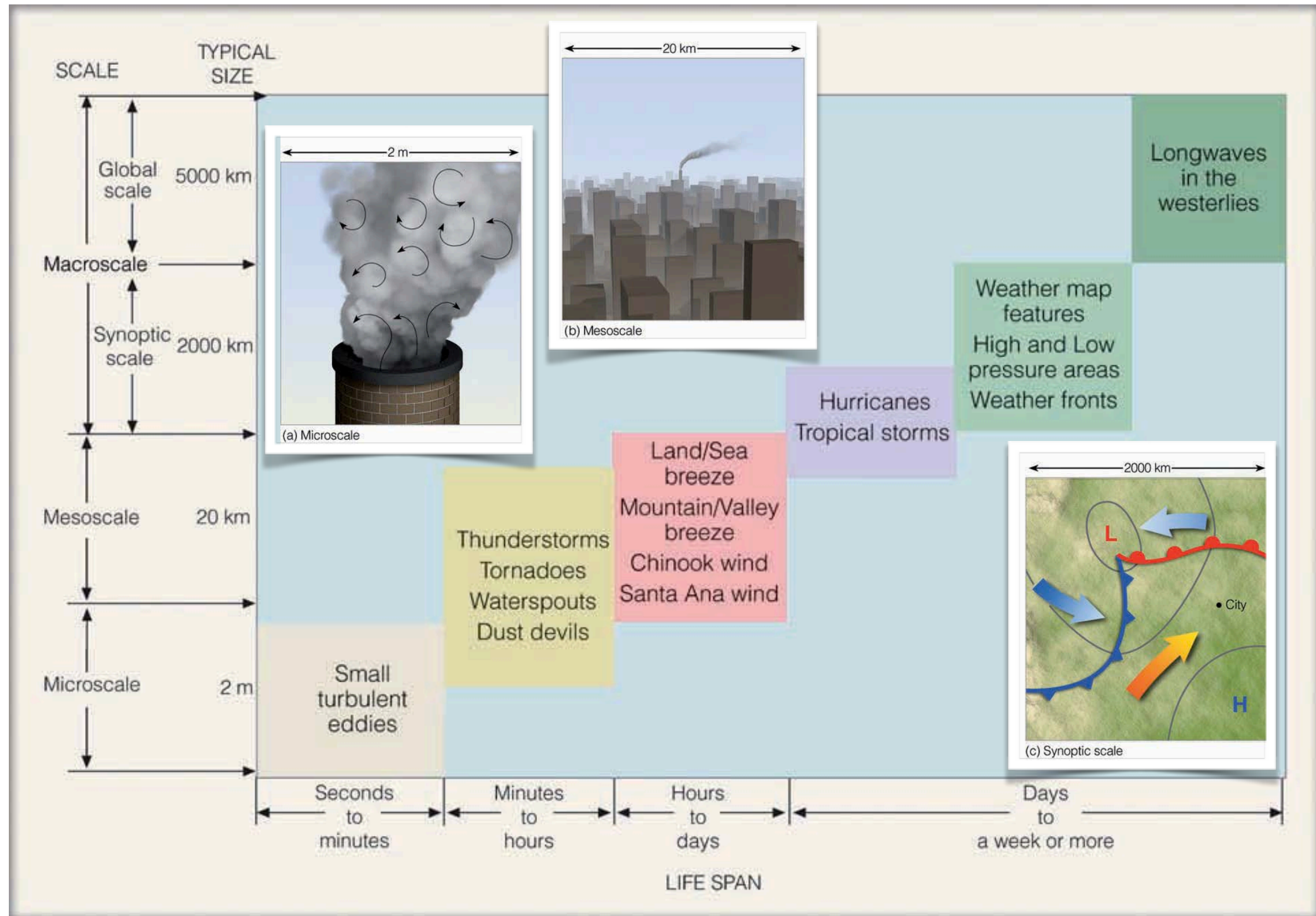
- 기압은 위로 갈 수록 급격히 떨어짐
- 기압경도력은 따라서 위를 향함
- 하지만 이 기압 경도력은 바람을 만들지 못함
- 중력이 반대방향으로 작용하며 기압경도력을 상쇄시킴
- 이를 정역학 평형이라고 함
- 식으로 표현하면, 
$$\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta z} + g = 0$$







# 여러가지 규모의 바람

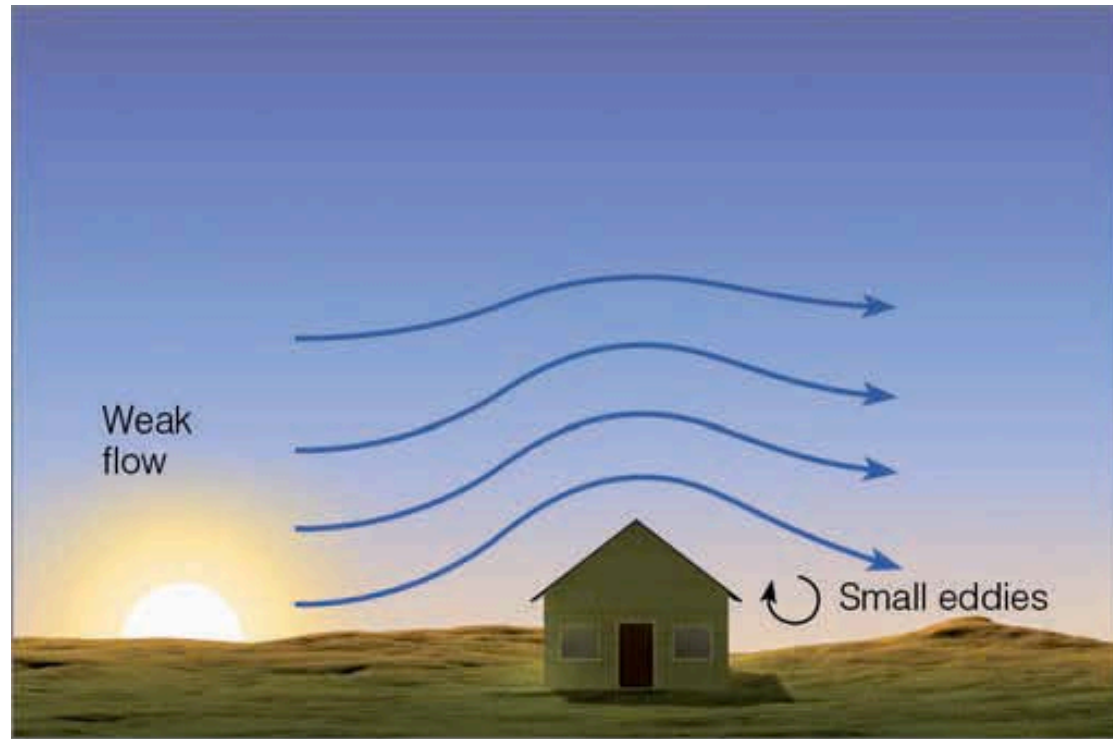


# 작은 규모의 바람

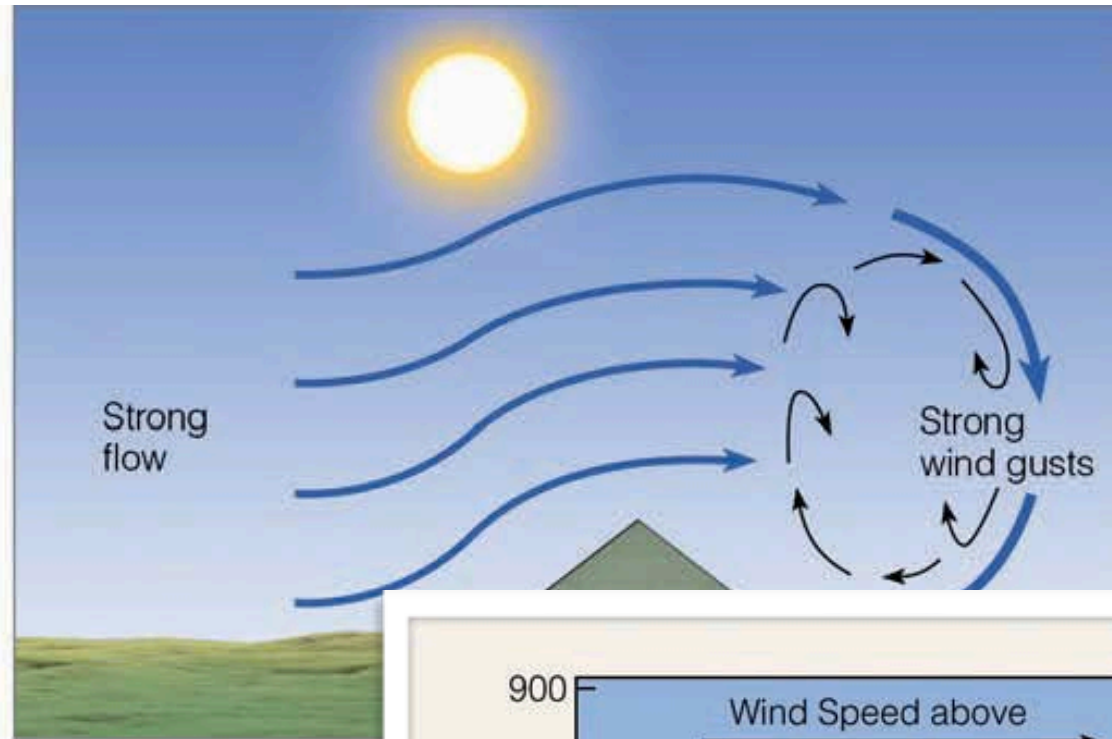
---

- 작은 규모의 바람은 주로 난류와 관련이 있음
- 난류가 발생하면, 큰 규모의 흐름을 방해하며 바람을 늦추는 효과를 가짐
- 마찰력과 같은 효과: 점도(viscosity) 를 사용하여 표현
  - 분자 점도
  - 에디 점도

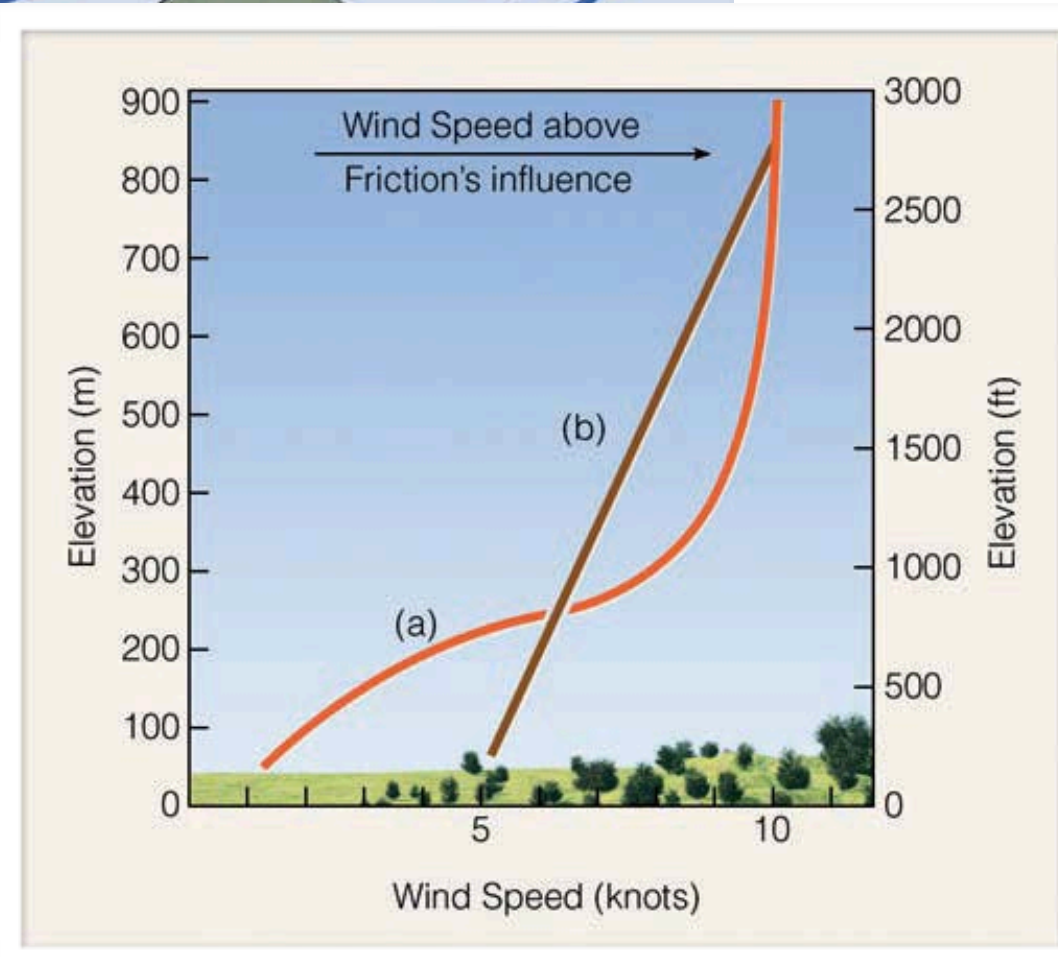
# 작은 규모의 바람



(a) Stable air



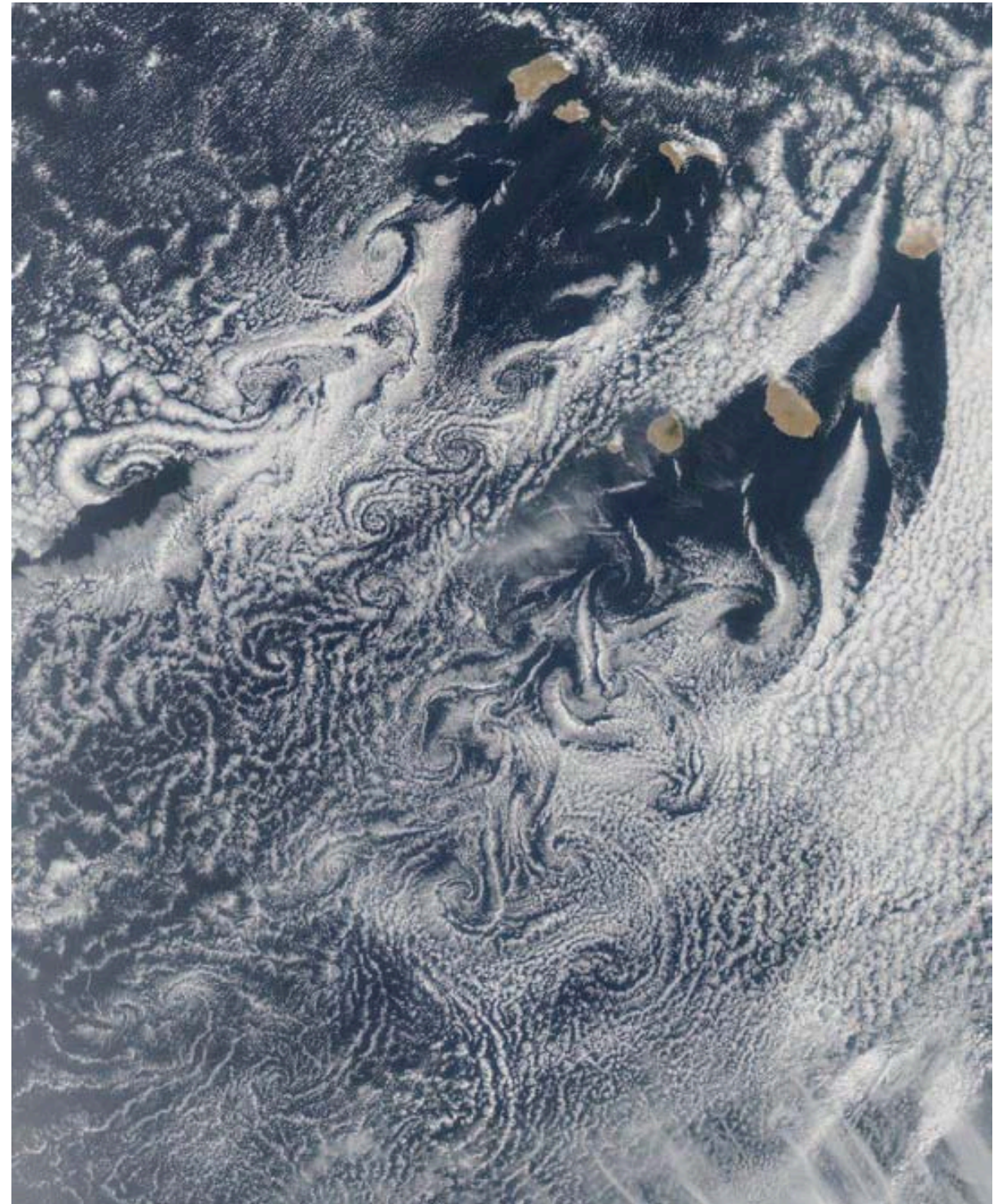
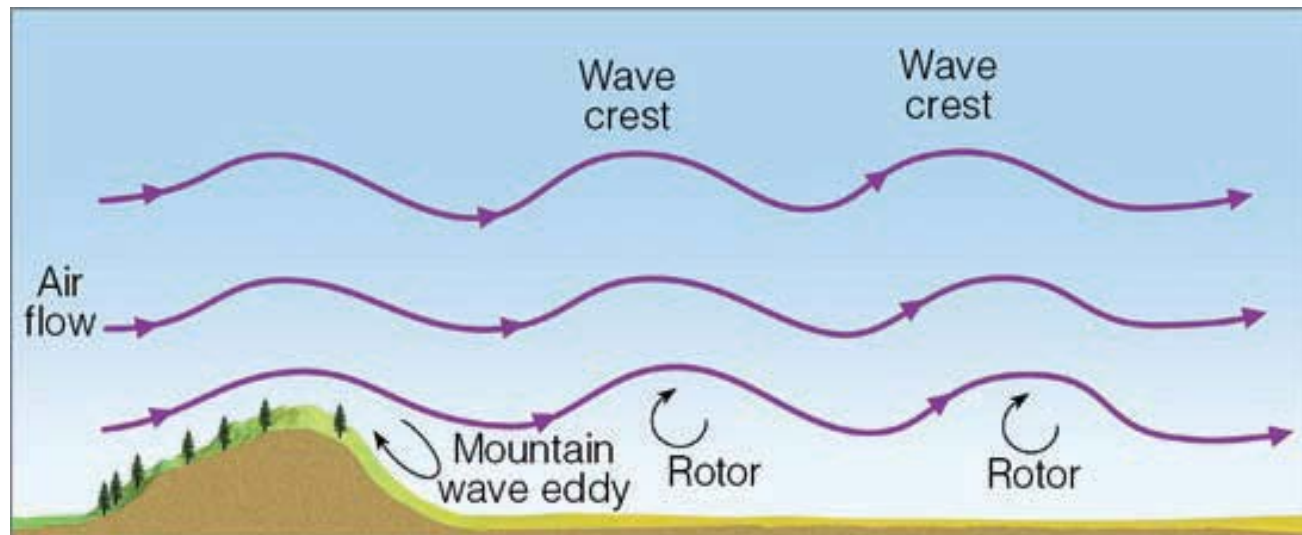
(b) Unstable air





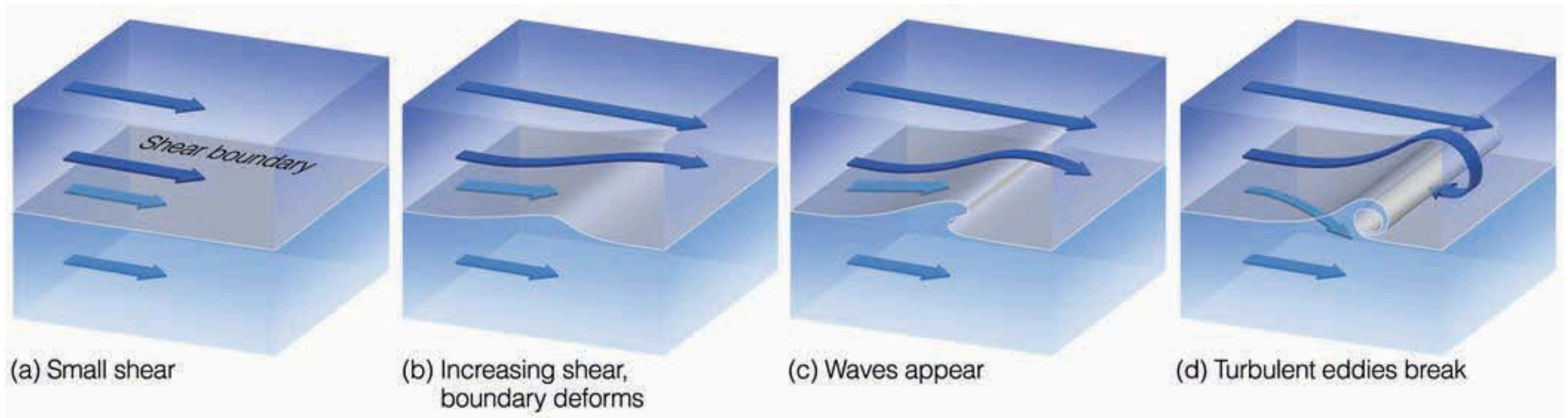
# 에디

- 굽이치는 모양의 바람
- 지형에 의해, 산에 의해 발생하기도 함
- Wind shear에 의해서도 발생
- 비행기의 위험요소





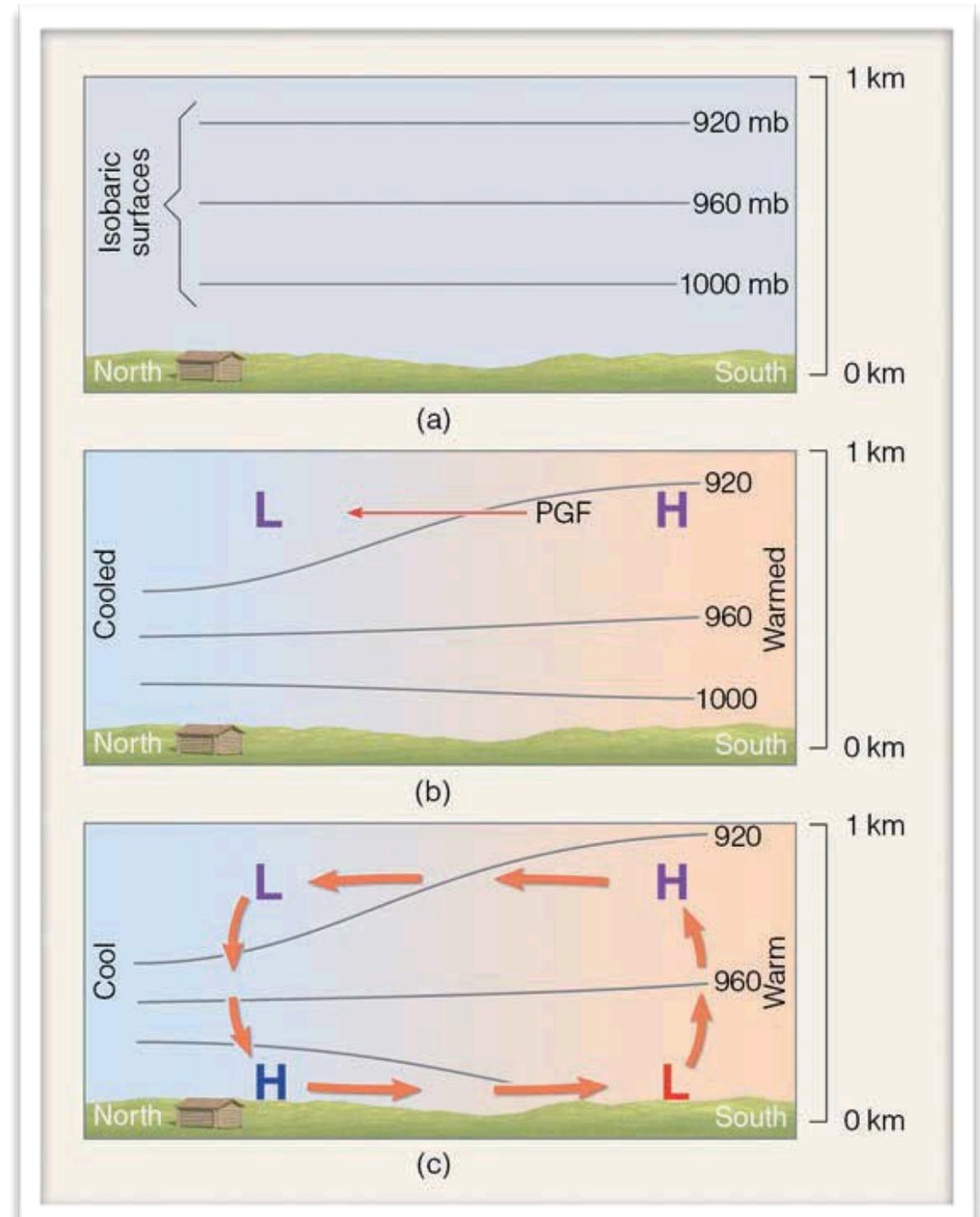
# Eddies and “air pockets”



**Clear air turbulence (CAT)**

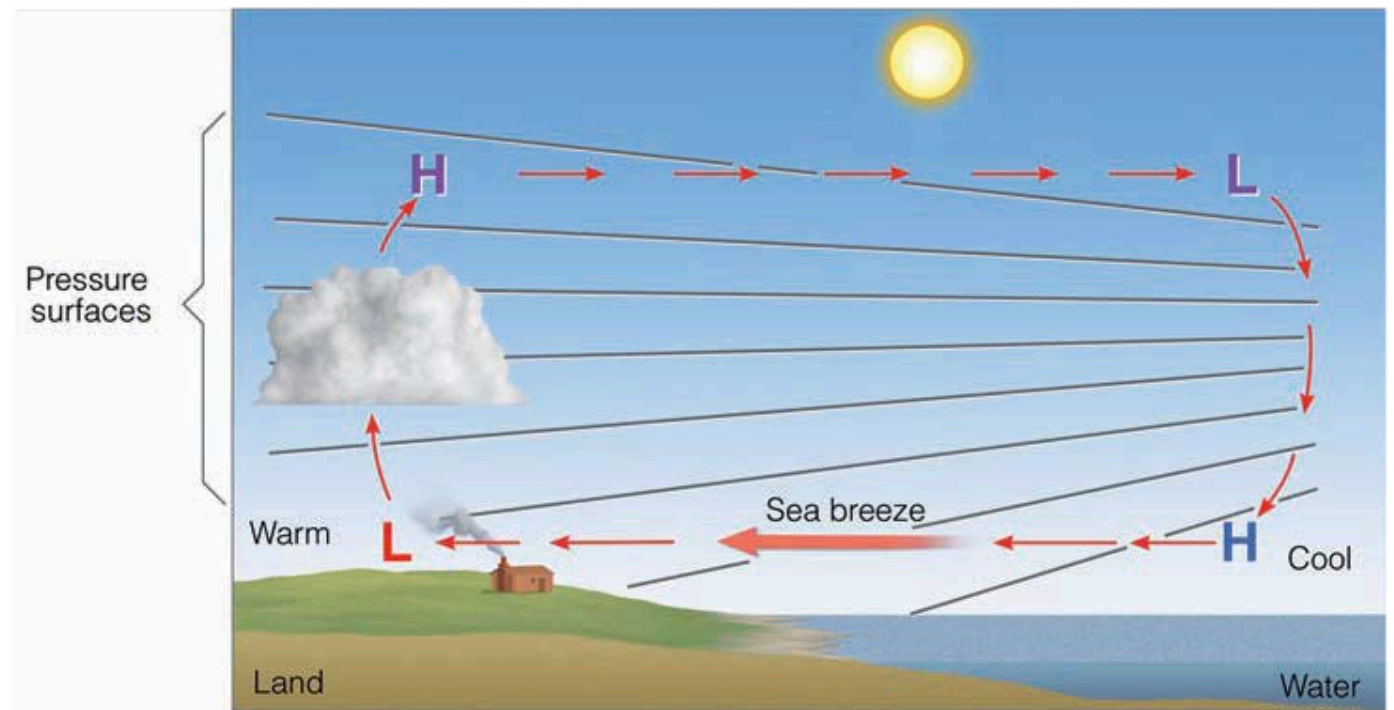
# 열순환에 의한 바람

- 온도에 의한 공기 순환 및 바람
- 가열로 인한 공기 팽창
- 상층 기압경도력 발생
- 하층 기압경도력 유발
- 바람
- 작은 시스템 (~ 1 km)

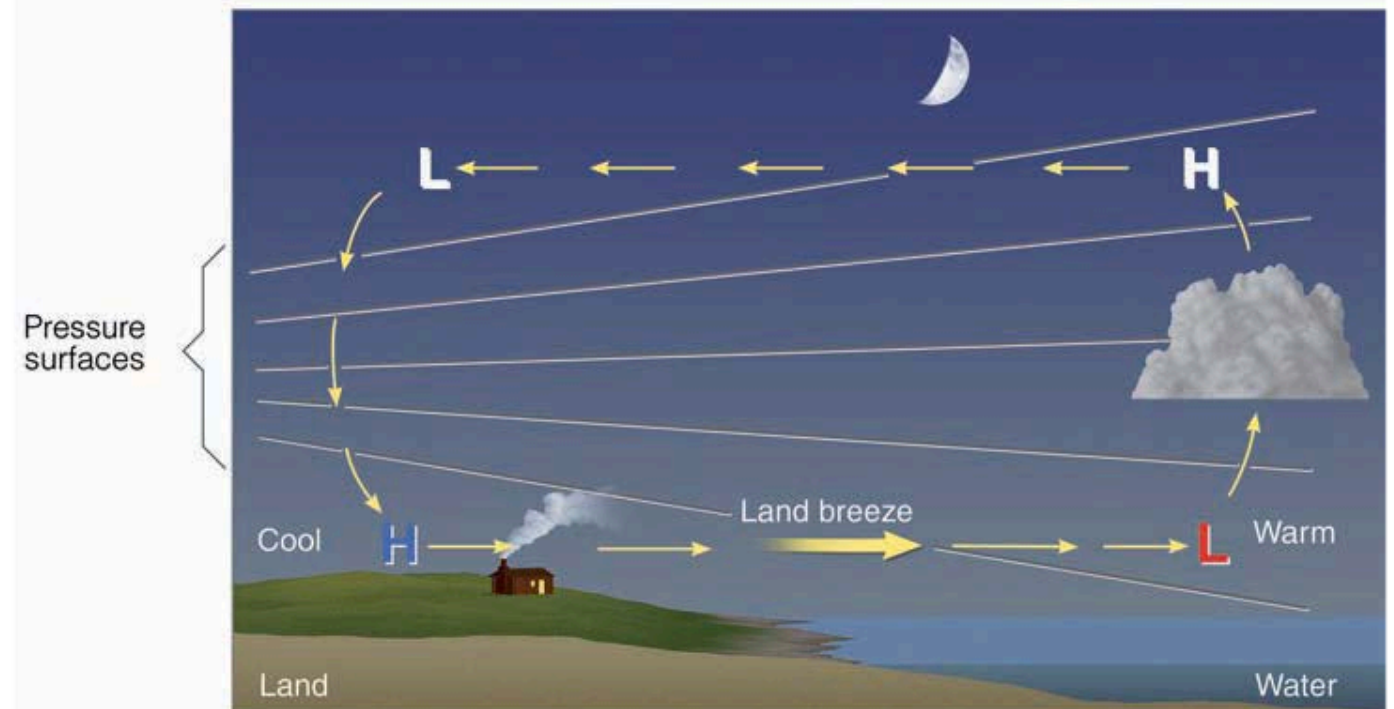


# 해륙풍

- Sea and Land Breezes
- 바다와 육지의 열량 차이
- 낮에는 해풍
- 밤에는 육풍
- 온도차이가 가장 심할 때 강한 바람
- 전선을 동방할 때 급격한 온도차이 발생 가능
- 해풍시 습도 상승



(a) Sea breeze

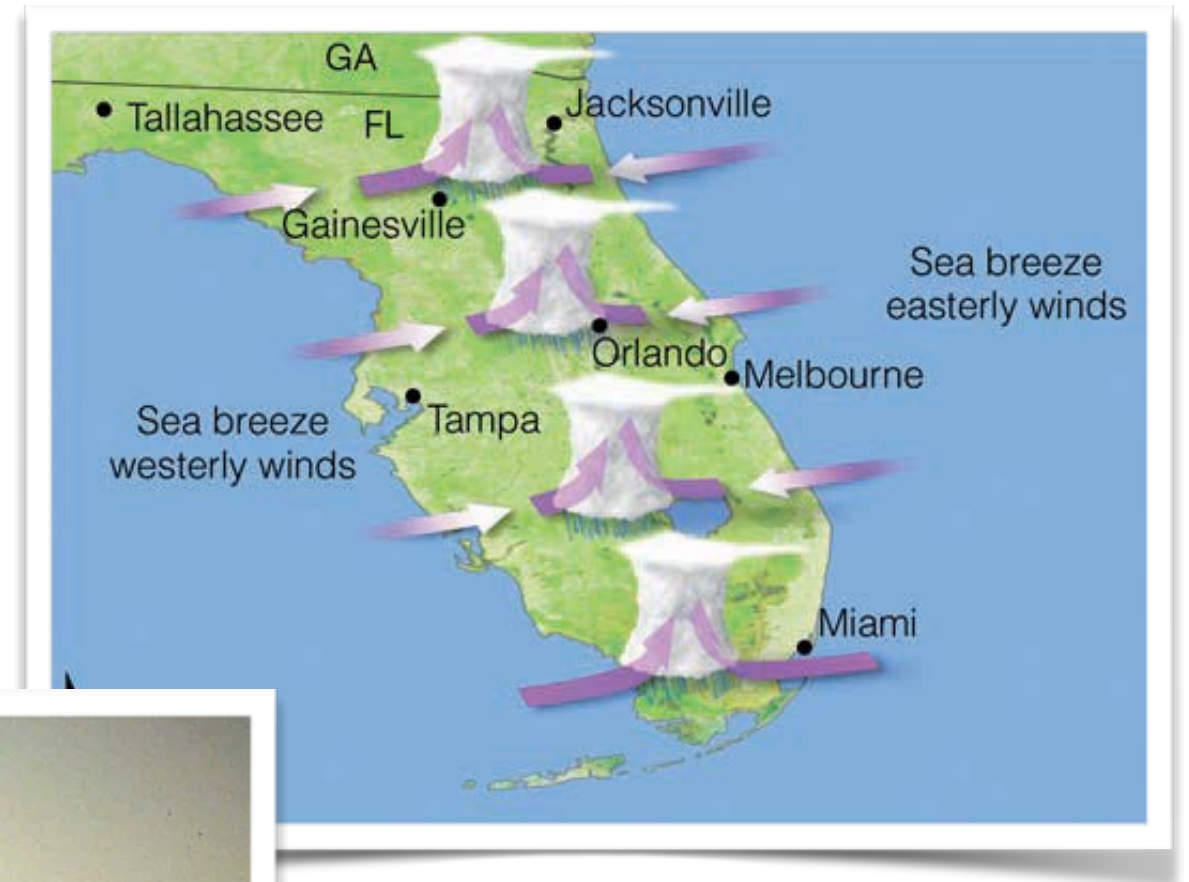


(b) Land breeze



# 해륙풍

- Sea breeze convergence
- 해풍의 수렴으로 상승작용
- 강한 적운발생 가능 (플로리다)

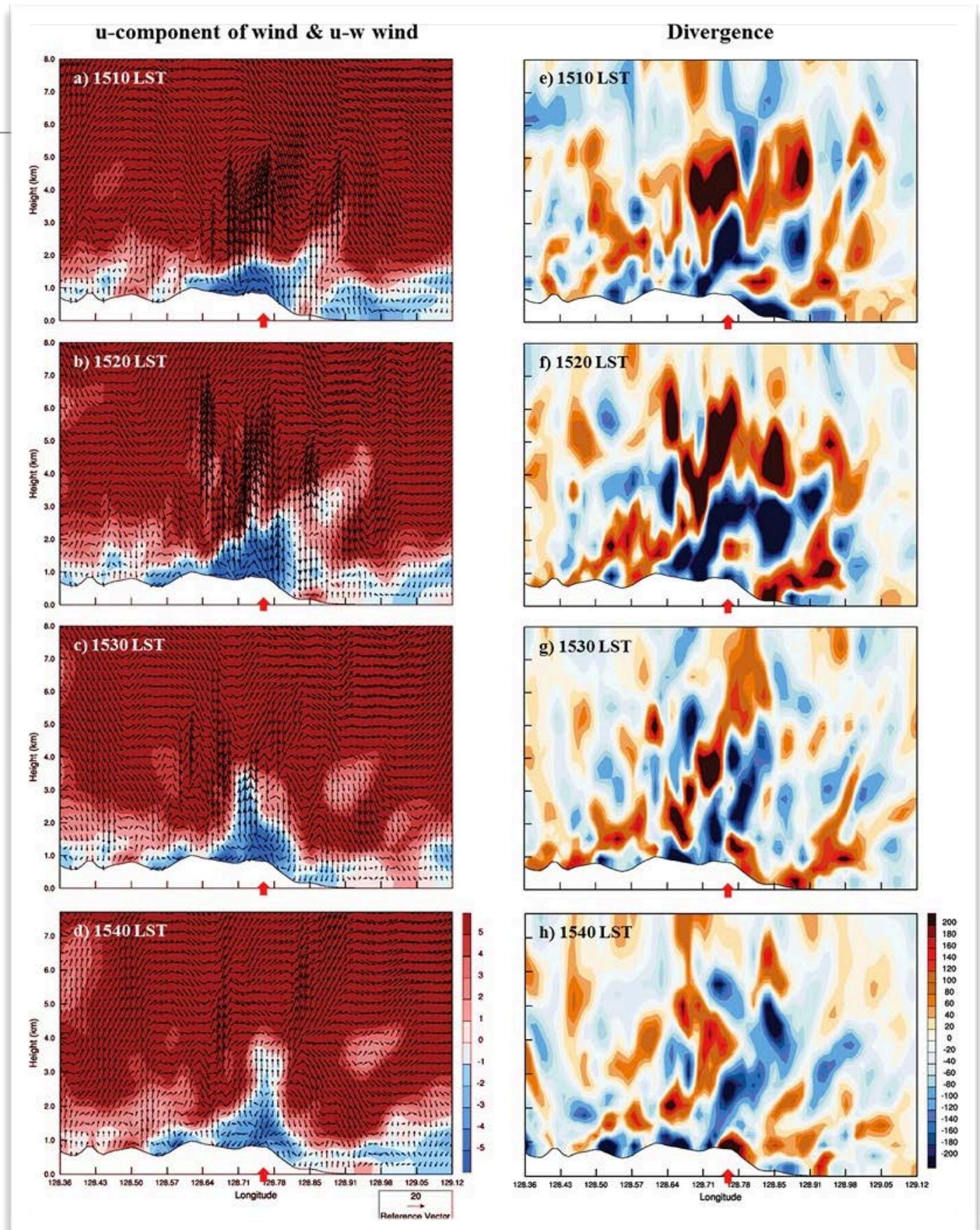




# 해륙풍

- 한국에서 보고된 해륙풍 관련 강수: 2014.07.31
- 대관령에서 뇌우를 동반한 강한 대류운에 의해 7월의 1시간 강수량 극값을 갱신하는 집중호우( $58.5 \text{ mm hr}^{-1}$ )가 발생
- 영동 해안지역과 인근 바다와의 열적 차이로 인하여 생성된 해풍 순환이 결합되어 강화된 국지 순환풍으로 인하여 생성된 동풍기류가 동해안에서부터 시작하여 산경사면을 타고 상승하면서 대관령 부근의 산악지역으로 유입됨과 동시에, 대관령 서쪽 영서지역으로부터는 서풍기류가 대관령 부근으로 유입됨에 따라 이 곳에서 강한 수렴역이 형성되어 강한 상승운동이 유발되었다.

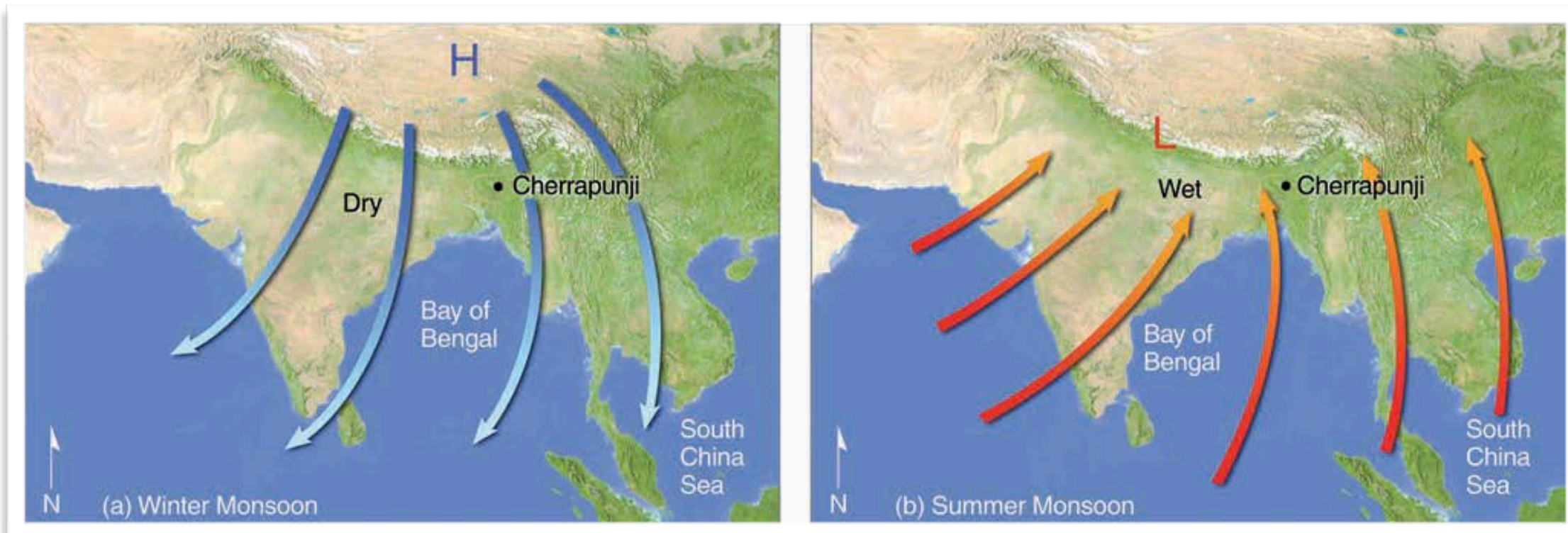
최승보, 이재규, 2015





# 계절풍

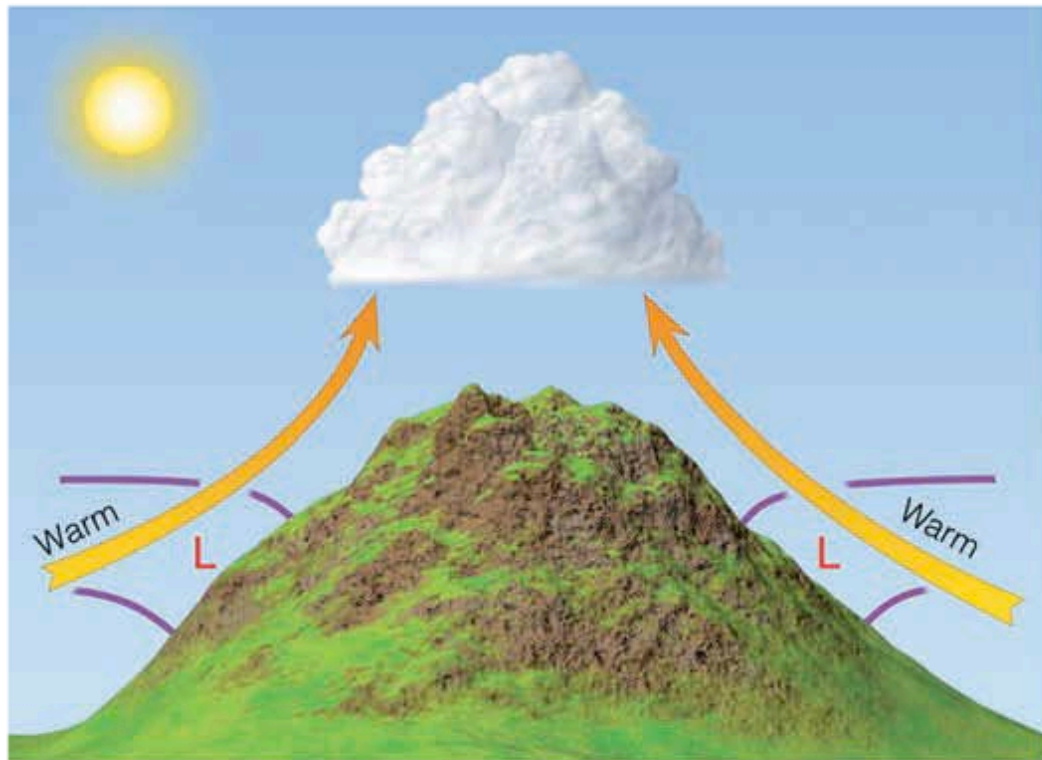
- 계절에 따라 바뀌는 바람, 몬순이라고도 함
- 해륙풍과 비슷한 원리
- 바람의 회전이 동반됨 - 지구의 자전을 느낄 정도의 규모
- 습한 공기의 상승으로 인한 강우 발생



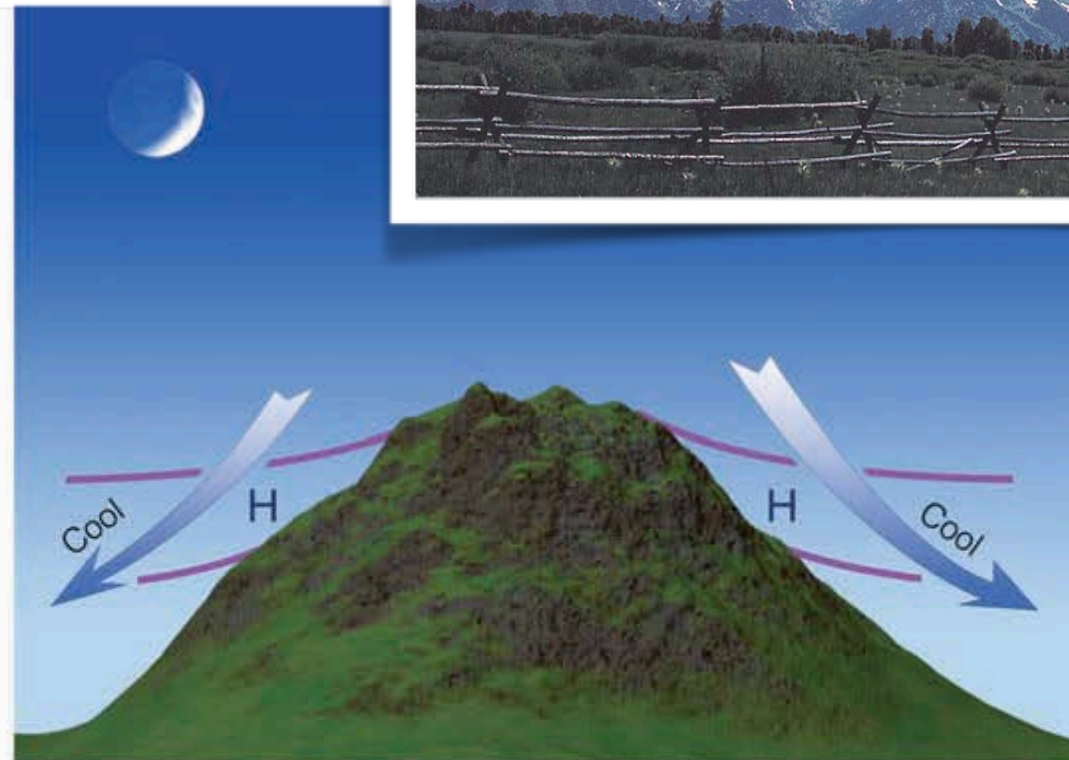


# 산악풍, 계곡풍 (mountain and valley breeze)

- 낮에 데워진 산 경사면에서 공기가 산을 타고 상승
- 밤에는 차가워진 공기가 경사면을 타고 중력에 의해 하강
- 경사면 방향의 영향



Valley breeze



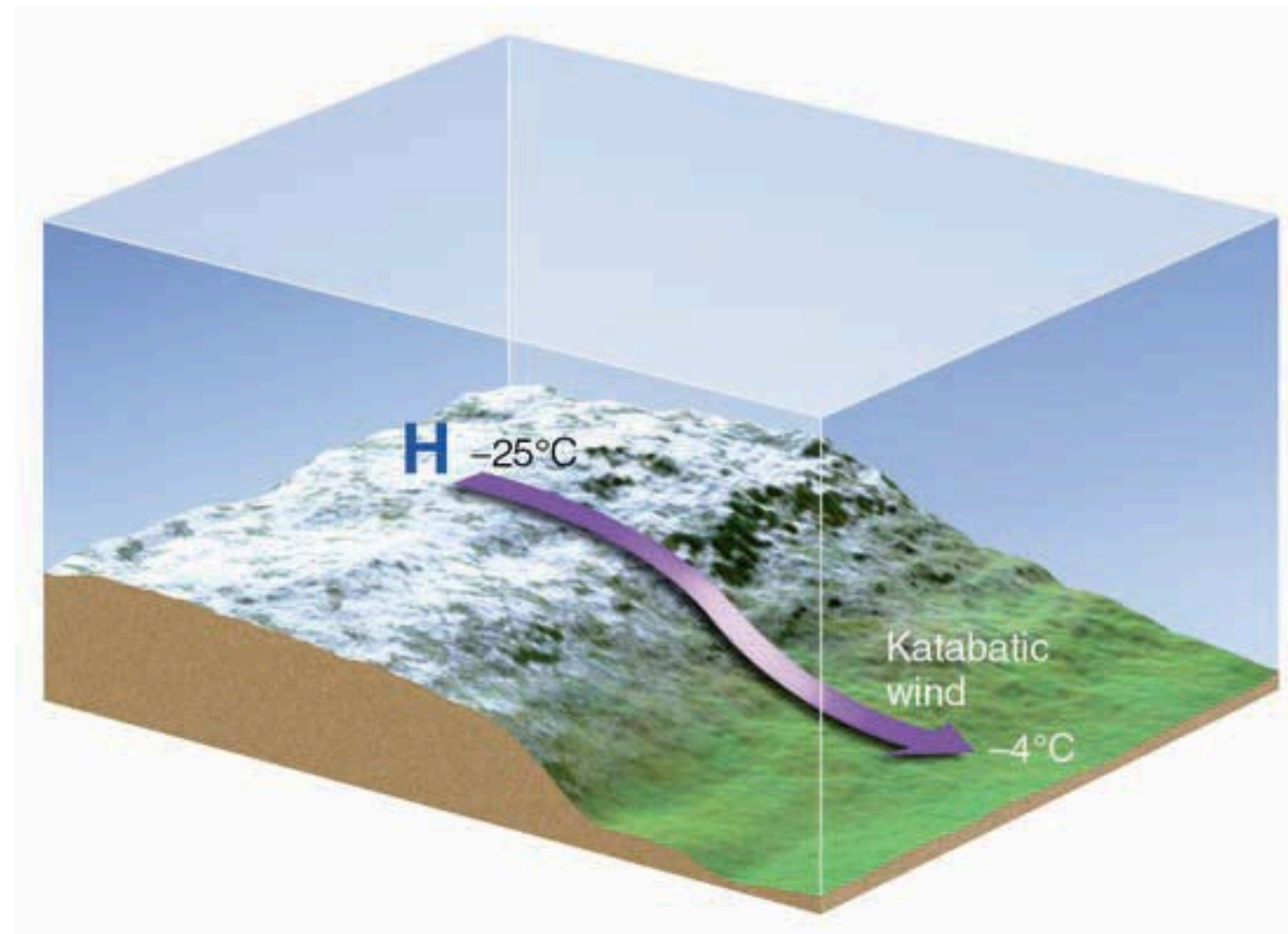
Mountain breeze



# Katabatic wind

---

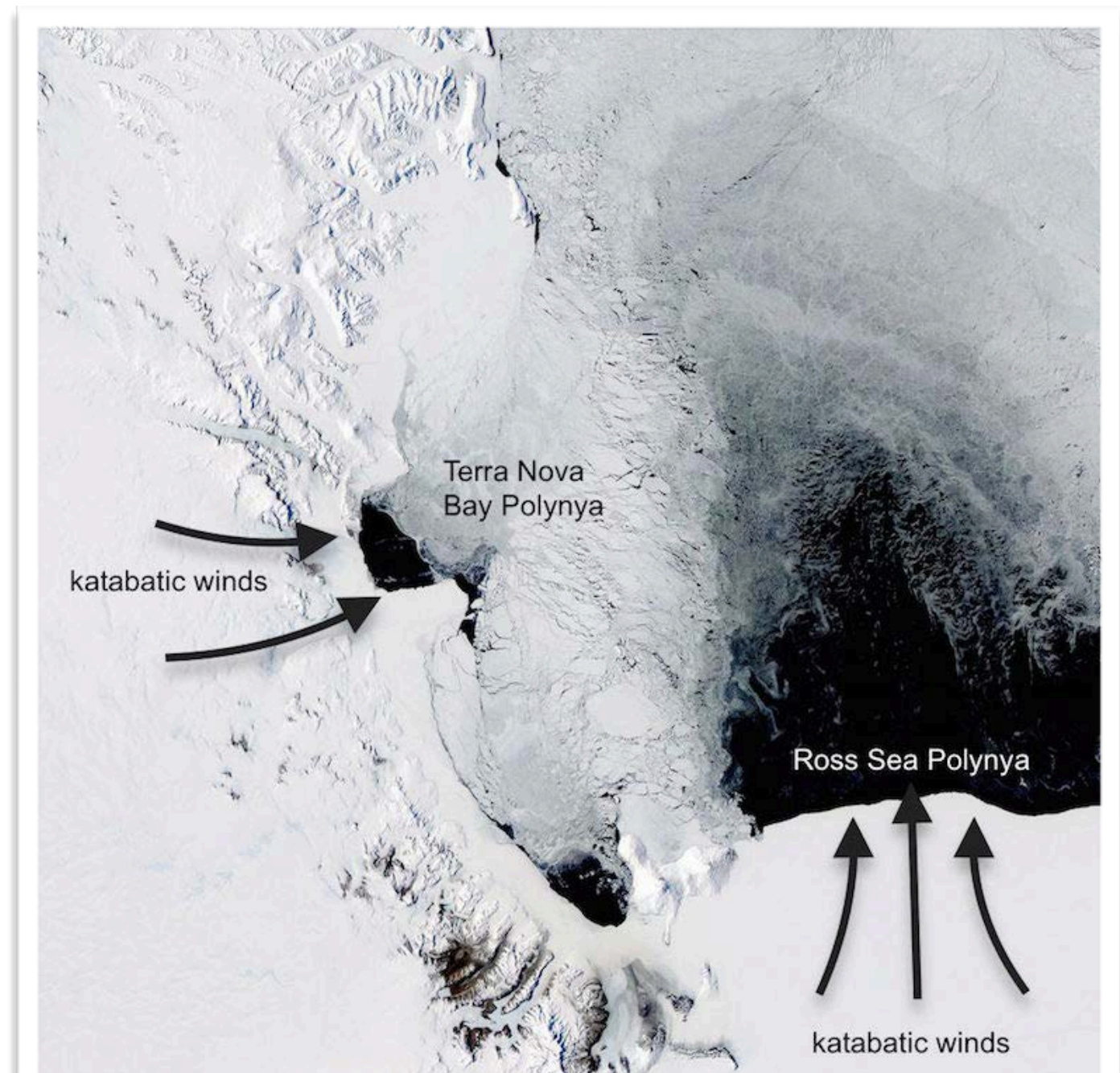
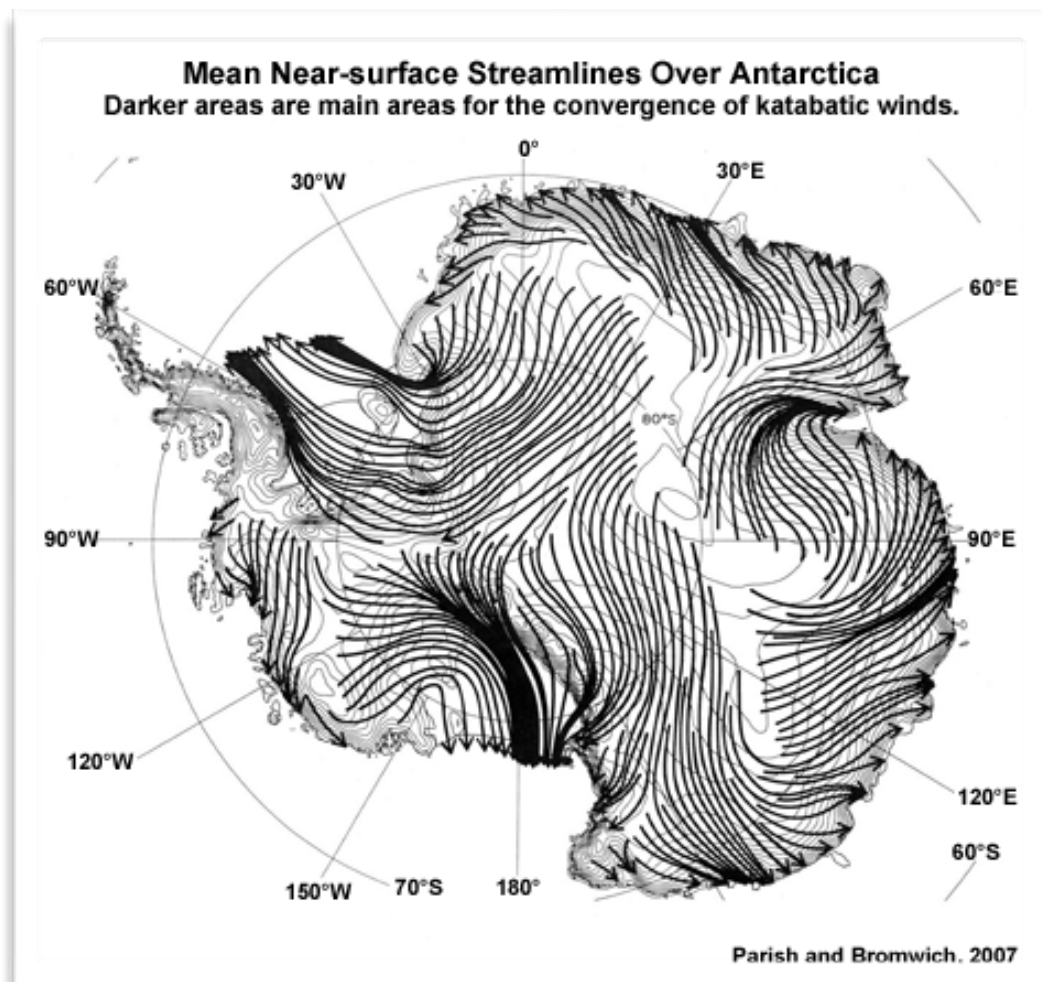
- 공기가 경사면을 따라 강하게 하강할 때 생기는 바람
- 남극의 경우:
  - video
  - activity





# Katabatic wind

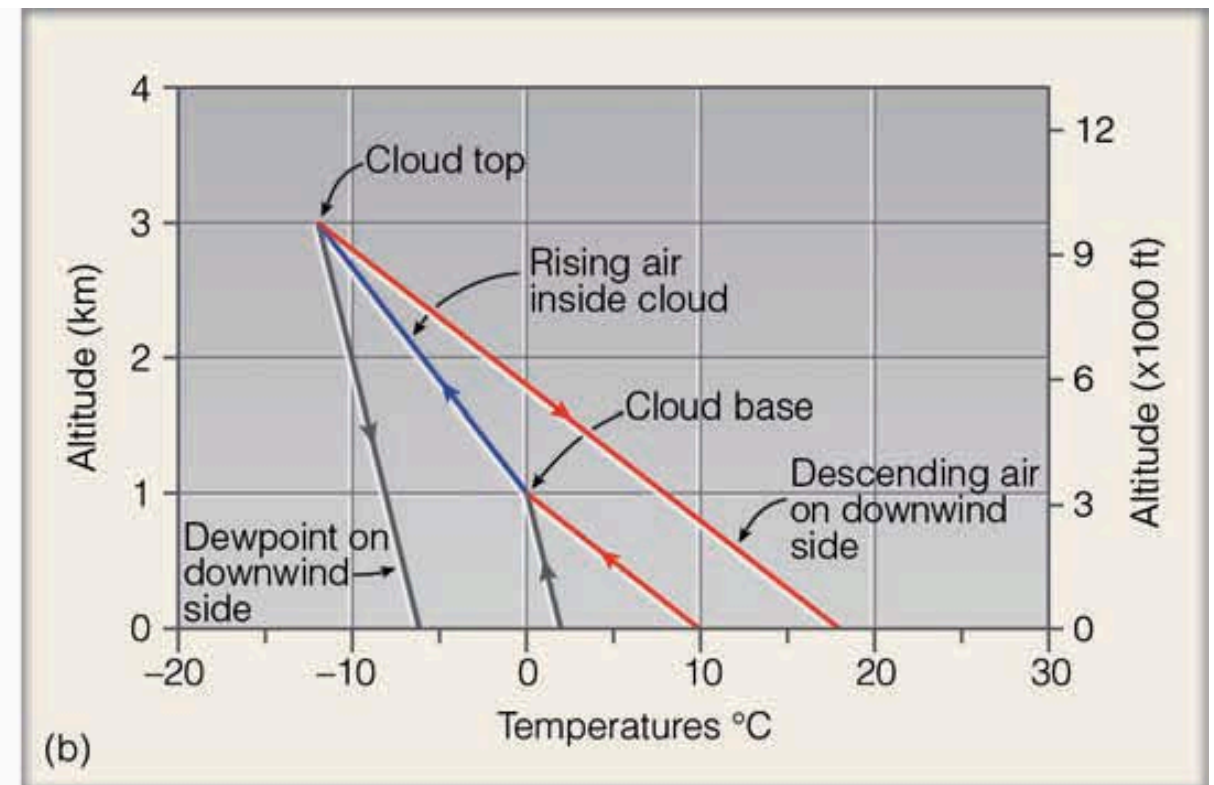
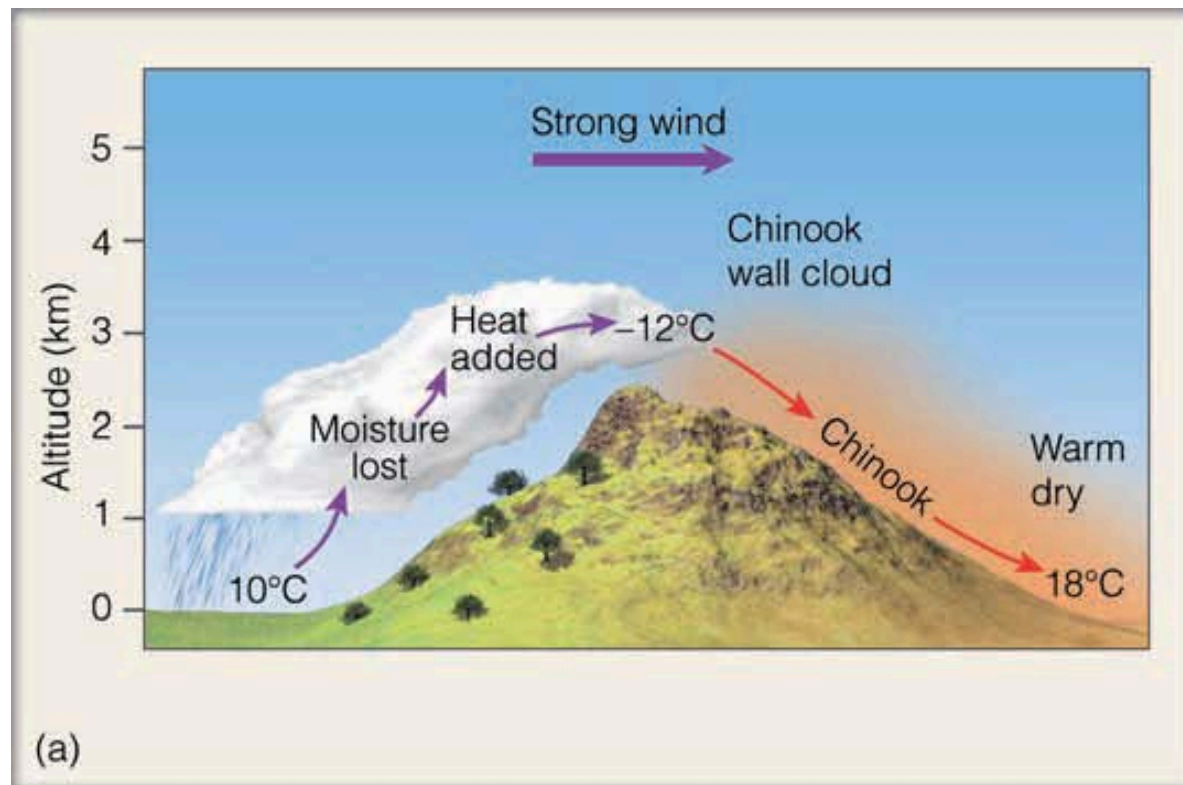
- 공기가 경사면을 따라 강하게 하강할 때 생기는 바람
- 남극의 경우:
  - Polynya





# 핀 현상

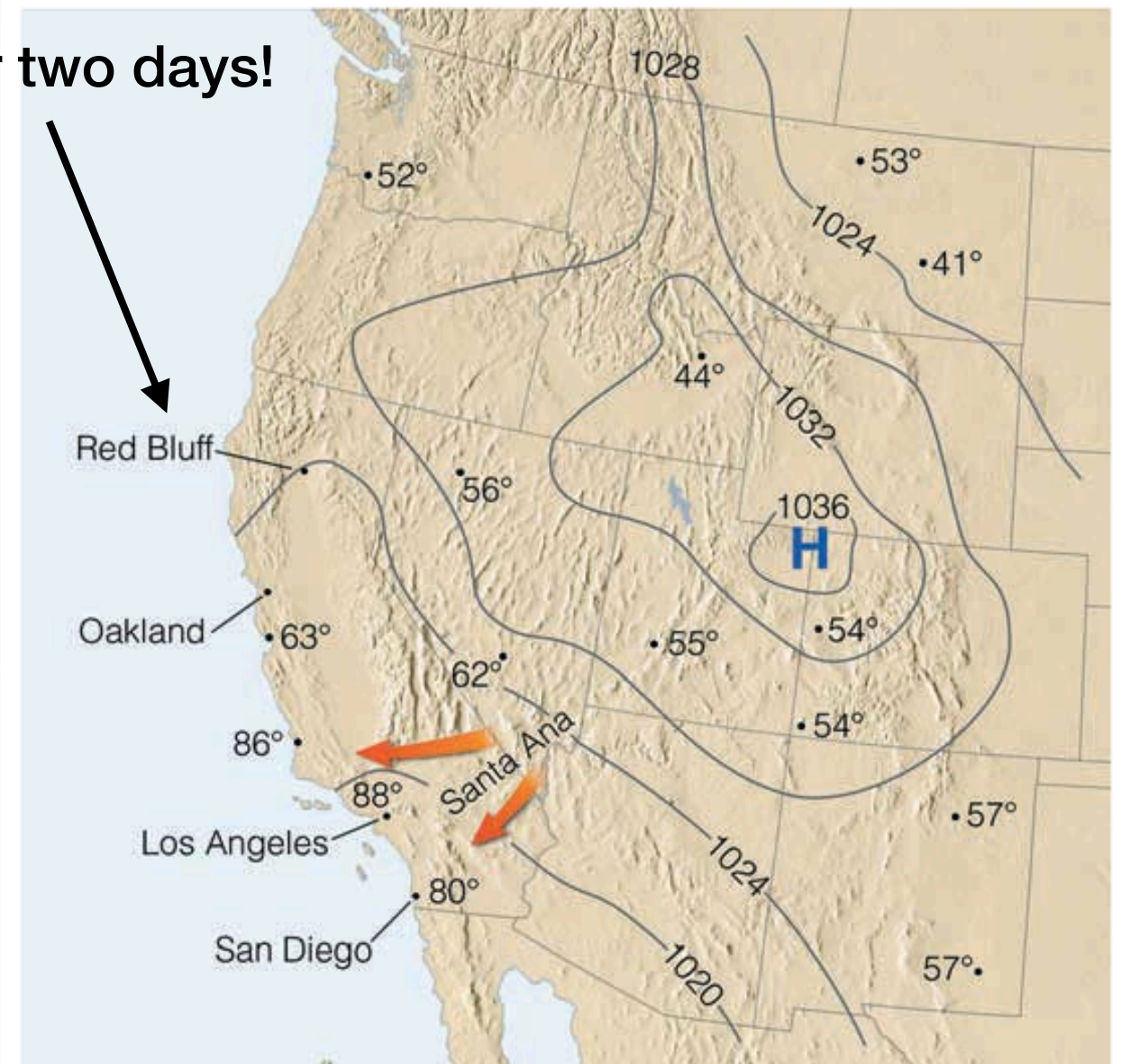
- 공기가 산을 넘어갈 때 강수로 인해 수증기를 잃을 수 있음
- 응결에 의한 잠열방출은 공기의 상승에 기여함
- 산을 넘은 공기는 건조하며, 하강하면서 단열압축으로 온도 상승
- 뜨겁고 건조한 바람 (건조한 콜로라도, 우리나라)



# Santa Ana wind

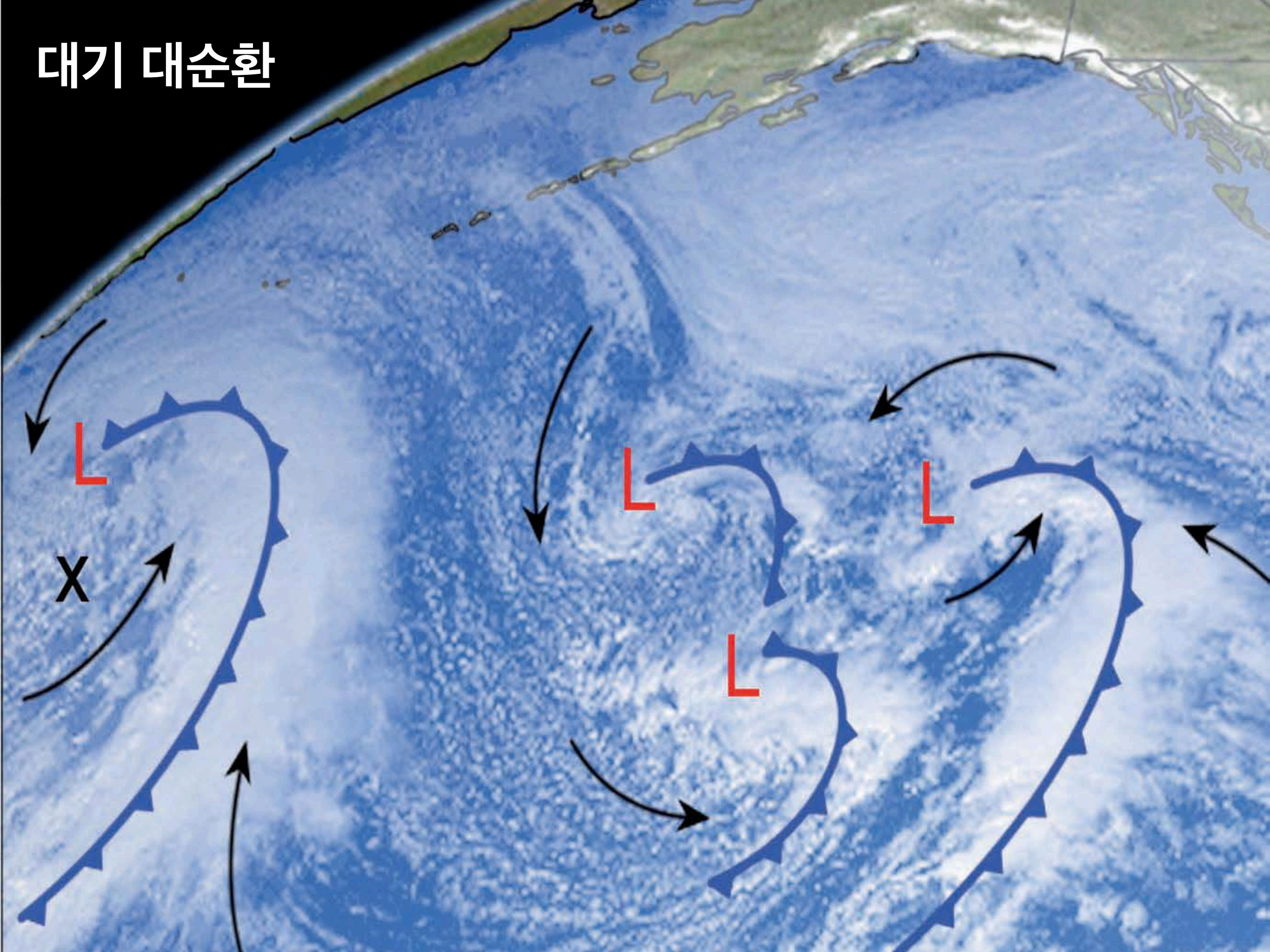
- 미국 서부에서 바다로 불어나가는 뜨겁고 건조한 바람
- 캘리포니아 산불

48 °C for two days!





# 대기 대순환





# 복사 불균형

---

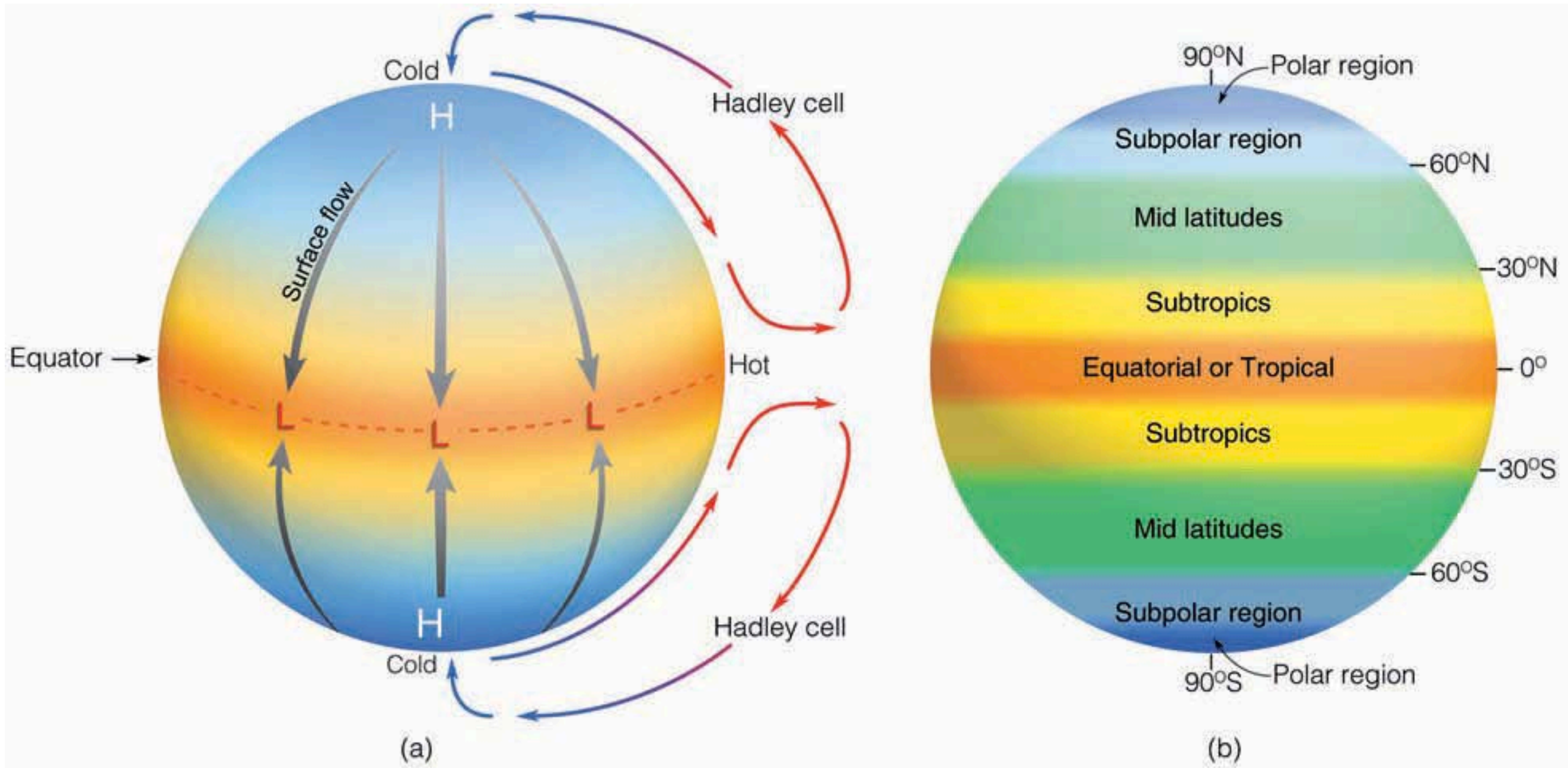
- 적도지방은 받아들이는 태양에너지가 잃는 복사에너지보다 큼
- 극지방은 잃는 복사에너지가 흡수하는 태양에너지보다 큼
- 대기와 해양은 복사 불균형을 해결하는 방향으로 움직일 것을 예상할 수 있음
- 대기에 대한 성질과 바람이 부는 이유를 알고 있으므로 대기 대 순환을 이를 바탕으로 설명해 볼 필요가 있음

# 해들리 순환

---

- 대기 대순환을 좀 더 쉽게 이해하기 위해 다음을 가정
  - 지구는 물로 덮여있다 → 육지/바다의 열량차이 제거
  - 태양은 항상 적도위에 위치한다 → 계절변화 제거
- George Hadley 에 의해 제시됨
- 지구가 회전하지 않는다면 적도지방에서 극으로 이어지는 거대한 순환을 생각해 볼 수 있음

# 해들리 순환





# 해들리 순환

---

- 따뜻한 적도지방에서 공기 상승
- 적도지방 상층의 기압이 극지방 상층 기압보다 높음
- 차가운 극지방에서 공기 하강
- 상공에서는 극지방으로 바람이 흐르고, 하층에서는 적도지방으로 바람이 부는 순환
- 열을 직접 수송해주지 못할듯.
- 에너지를 수송!
- 지구가 자전하므로 single cell은 존재할 수 없음