

SGS6833: 대기과학

5주 차 강의자료

지난 시간

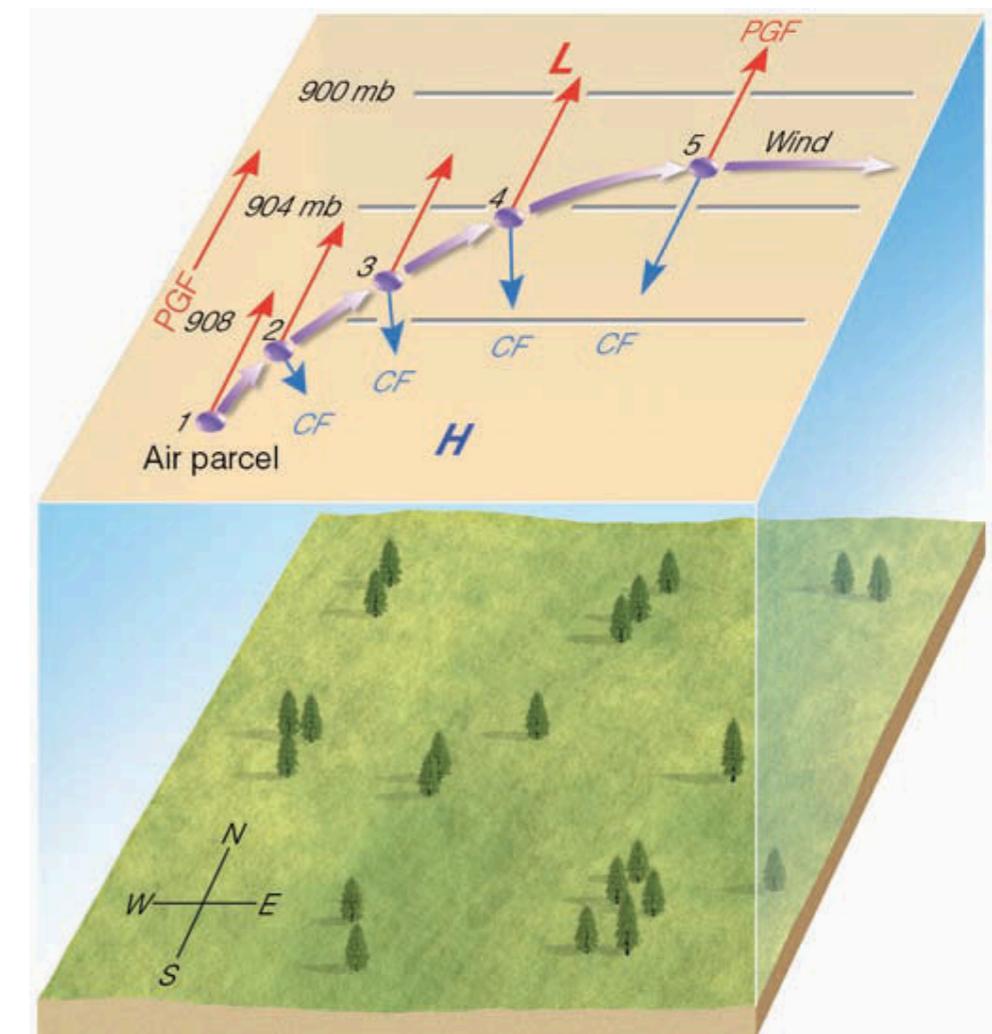
- 강수
 - 응결, 충돌/병합, 빙정
- 기압과 바람
 - 기압의 의미
 - 바람을 불게 하는 힘들: 기압경도력, 코리올리 힘

오늘의 내용

- 기압과 바람 //

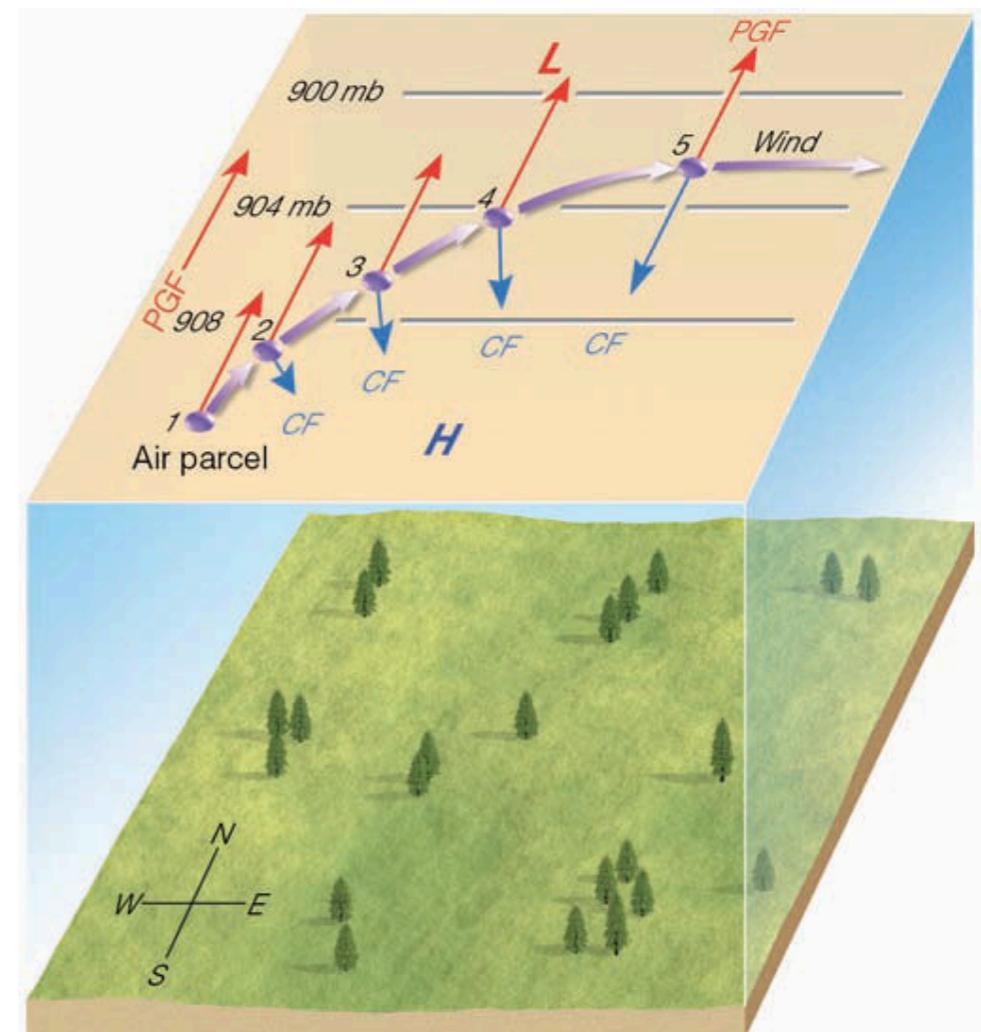
지균풍

- 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

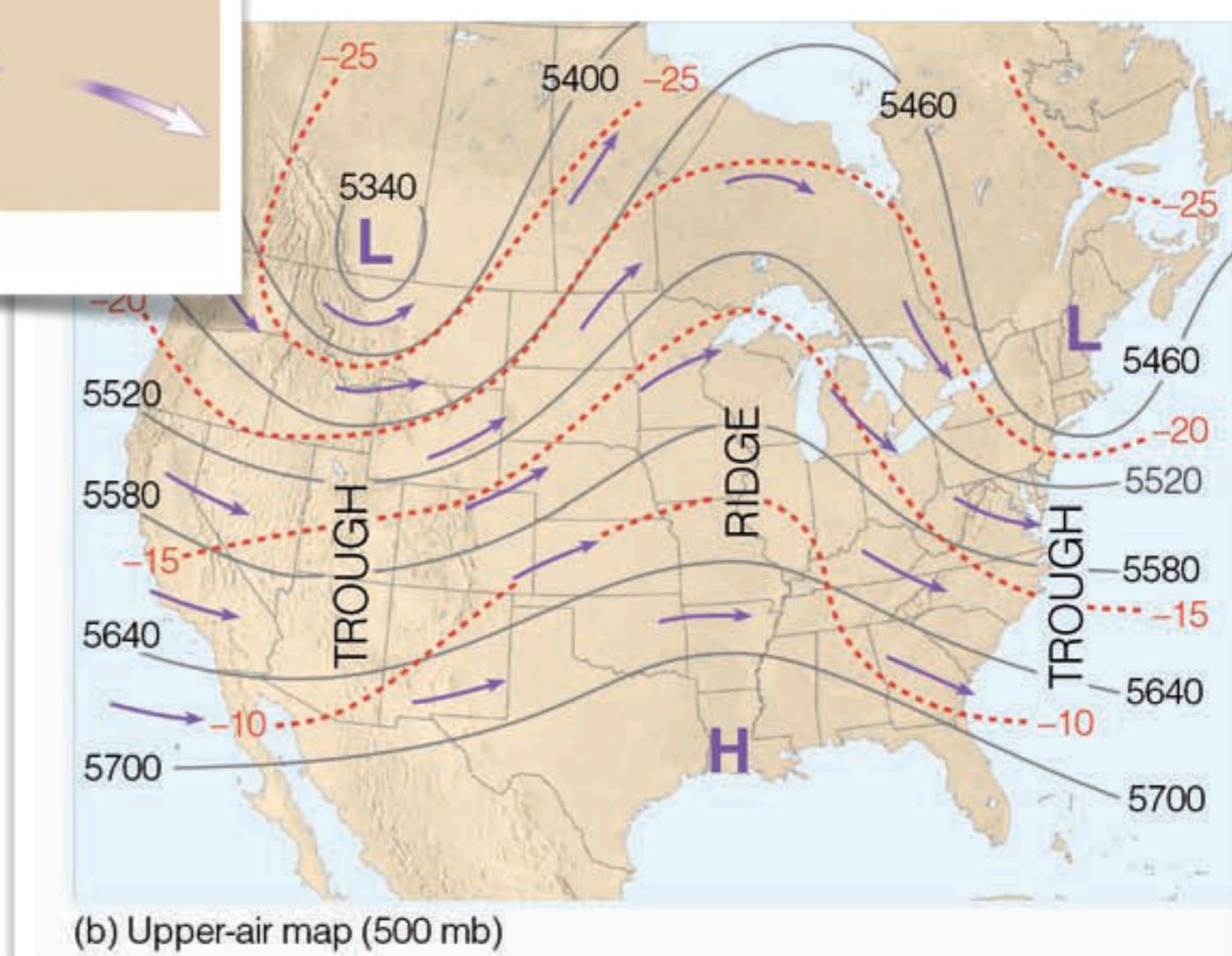
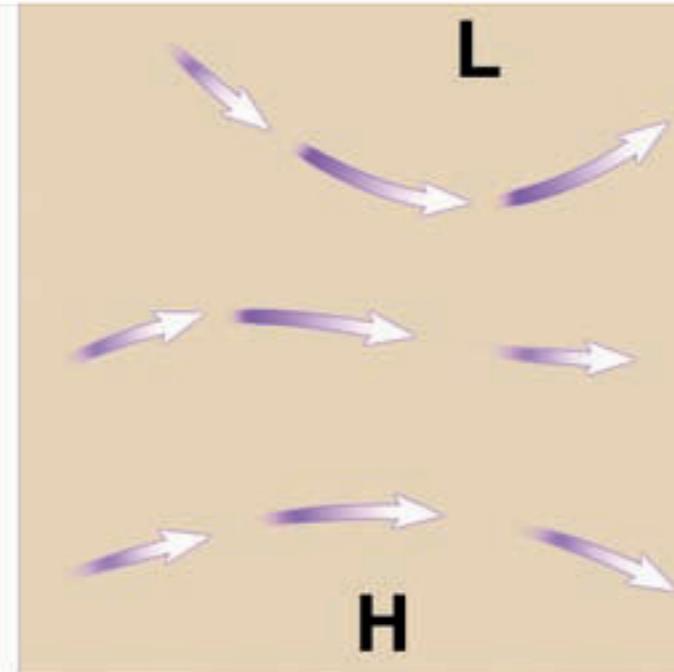
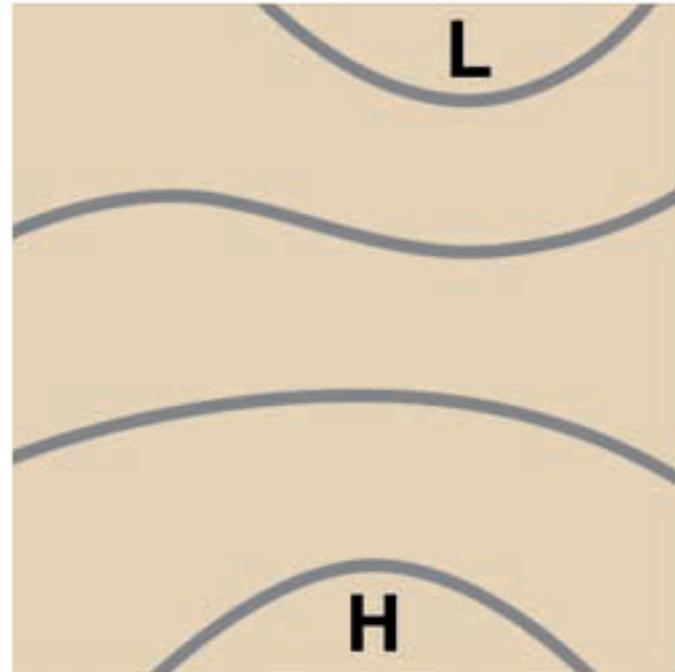


지균풍

- 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



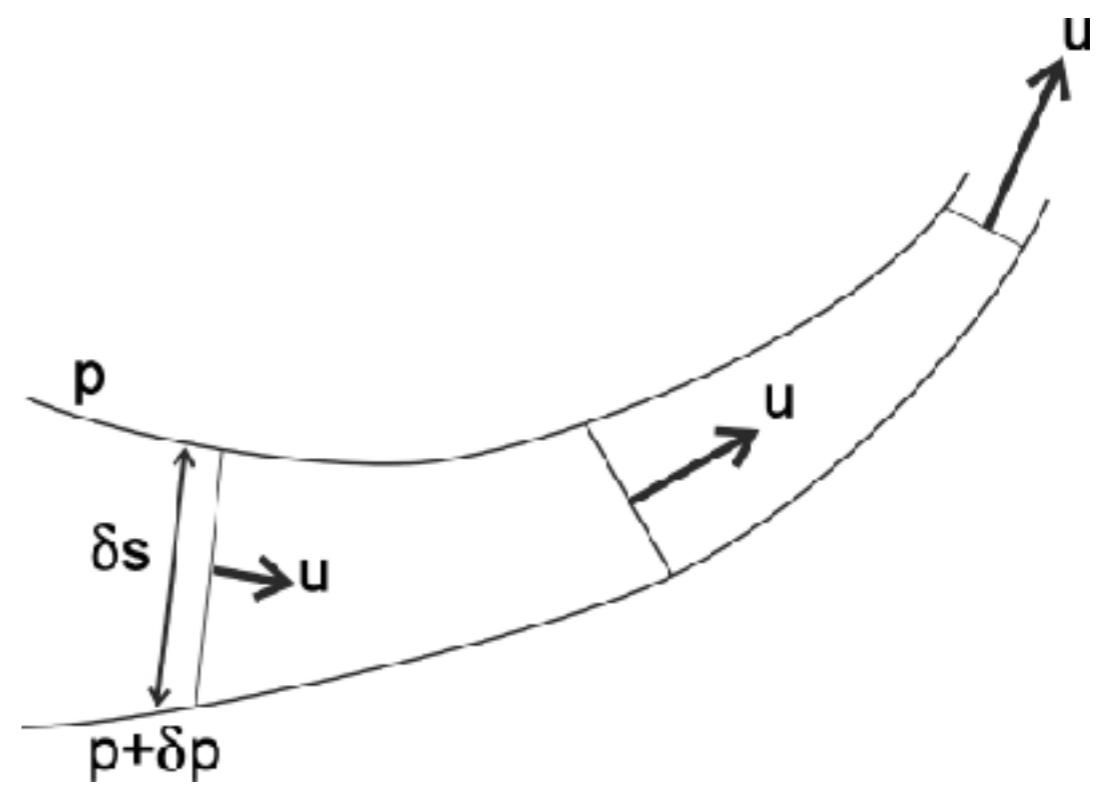
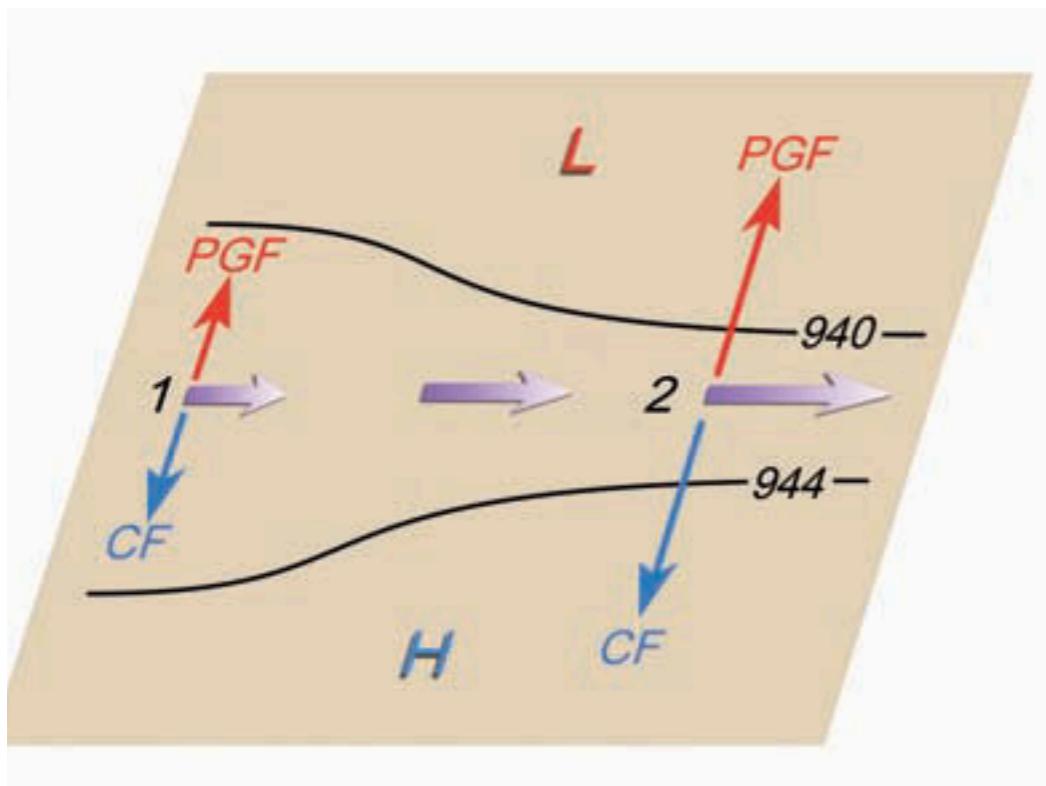
지균풍

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

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

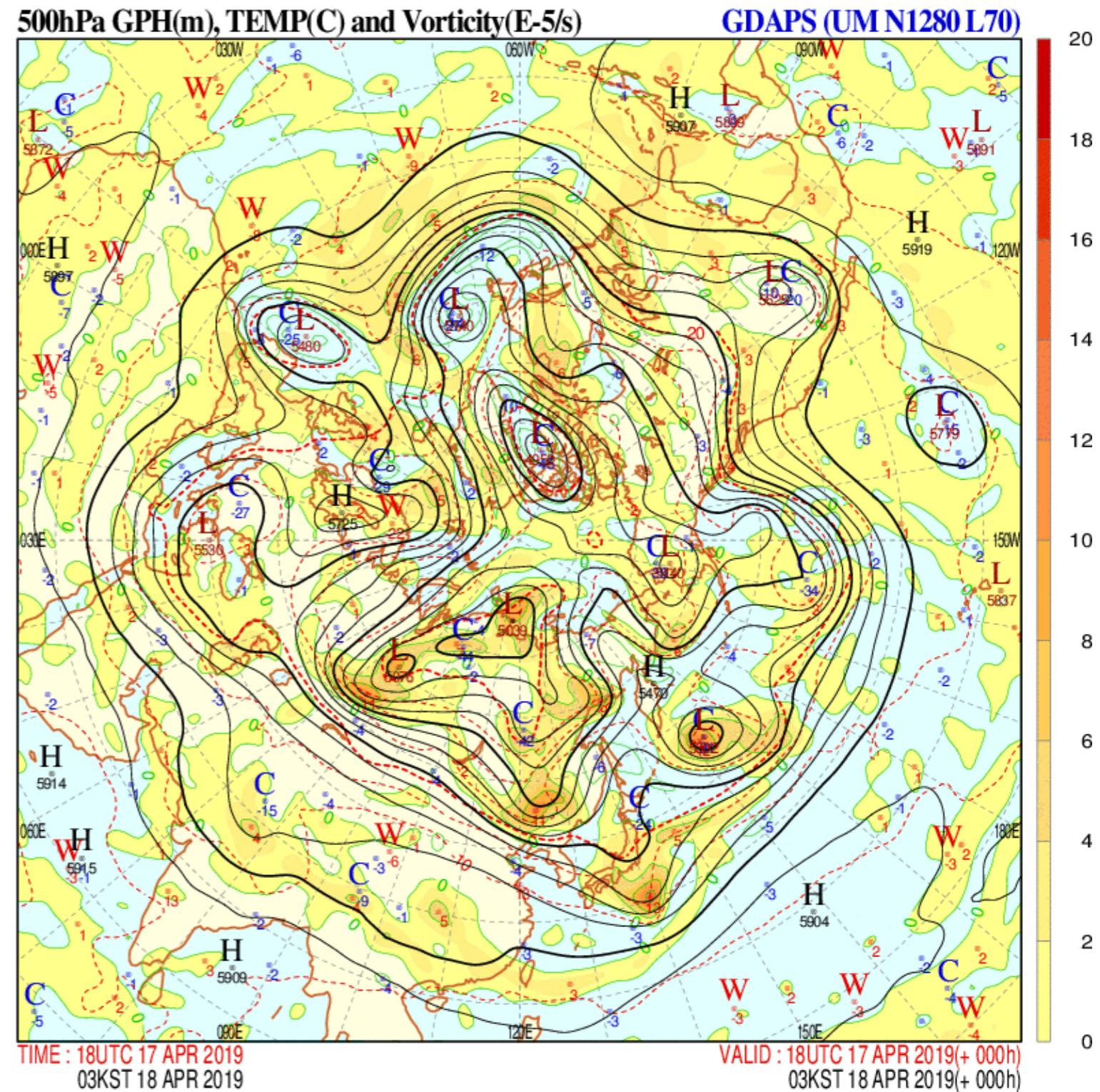
- 코리올리 힘 : 지구 자전에 의한 힘 $2\Omega v \sin \phi = fv$
- 지균풍, $|v_g| \sim \frac{1}{f\rho} \frac{\Delta p}{\Delta d} \rightarrow$ 지균풍은 기압차이가 클 수록, 거리가 짧을수록 빠름

지균풍



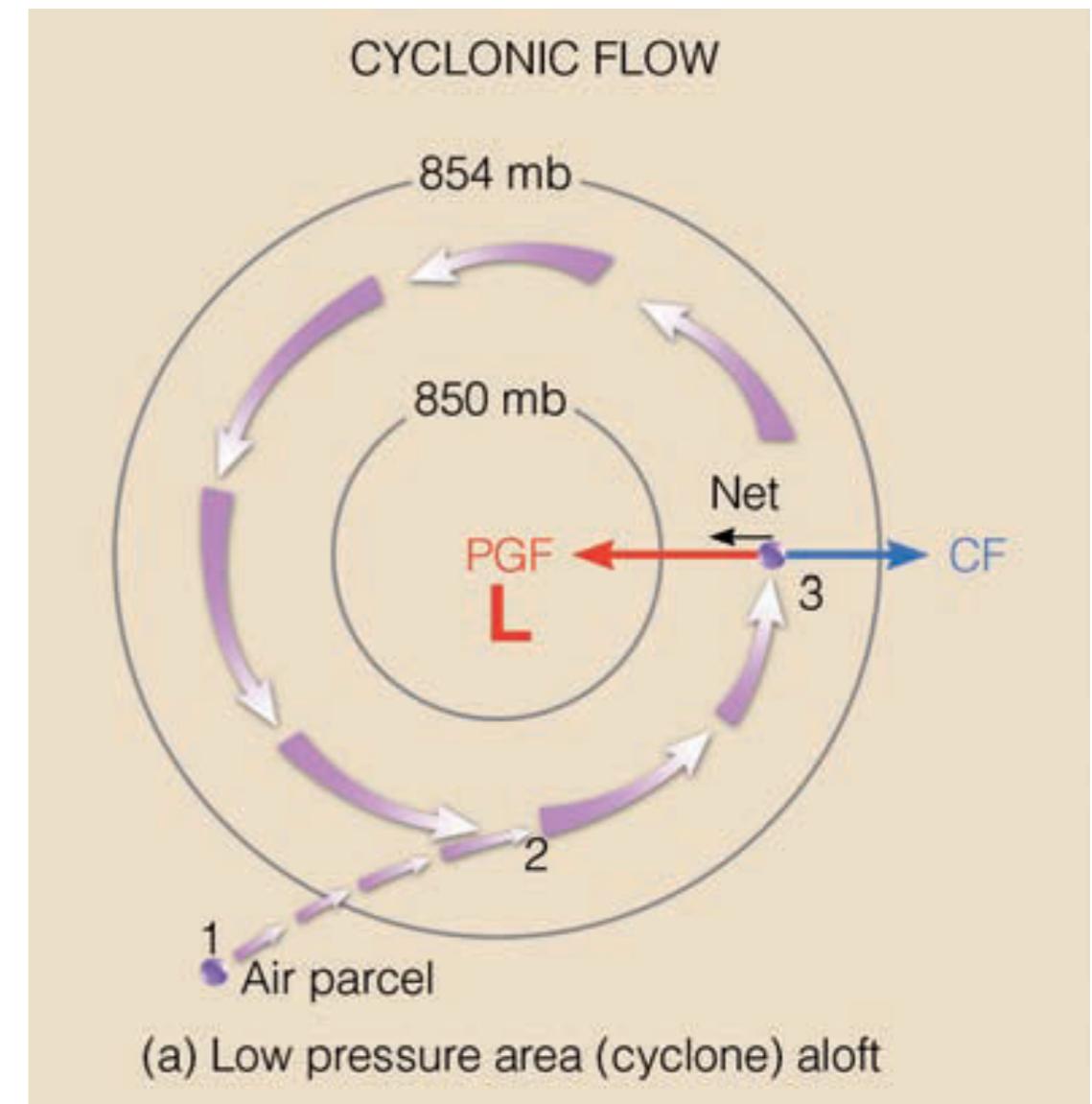
지균풍

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



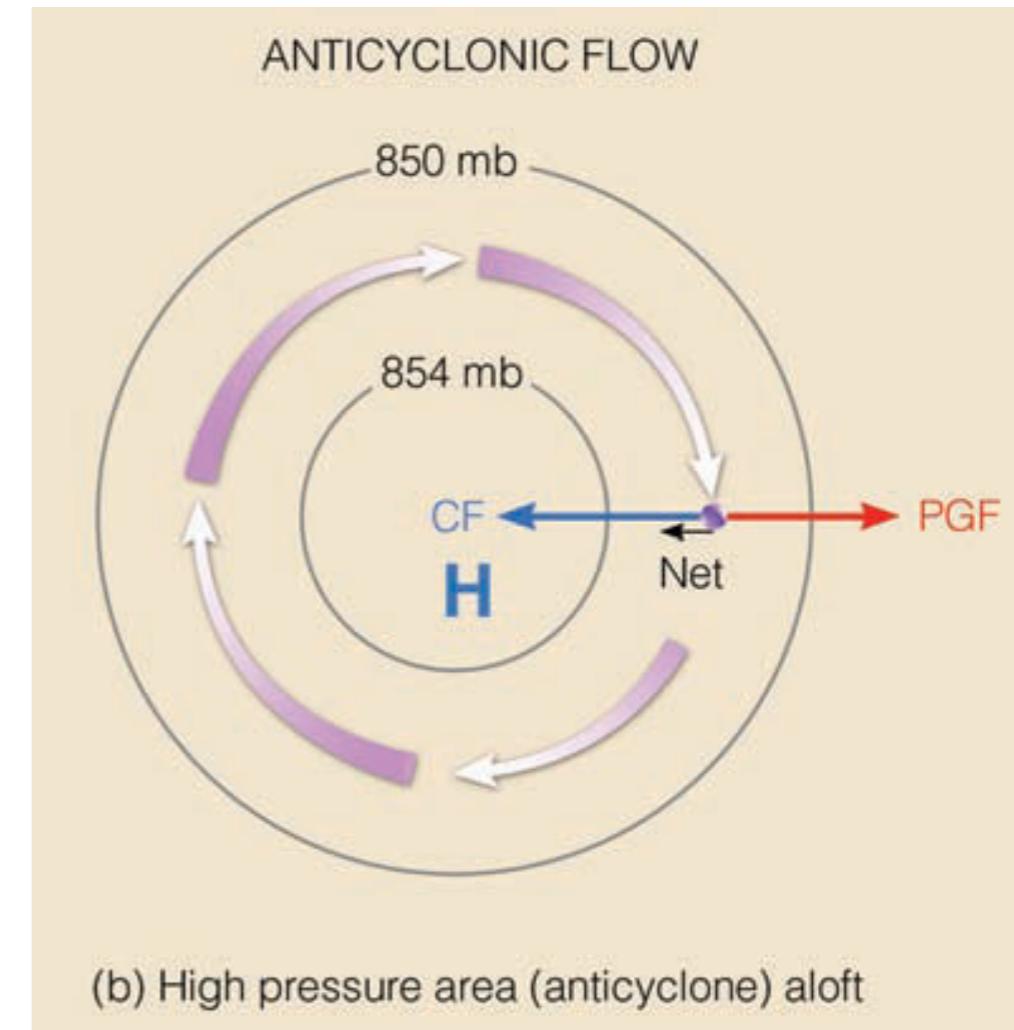
지균풍

- 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



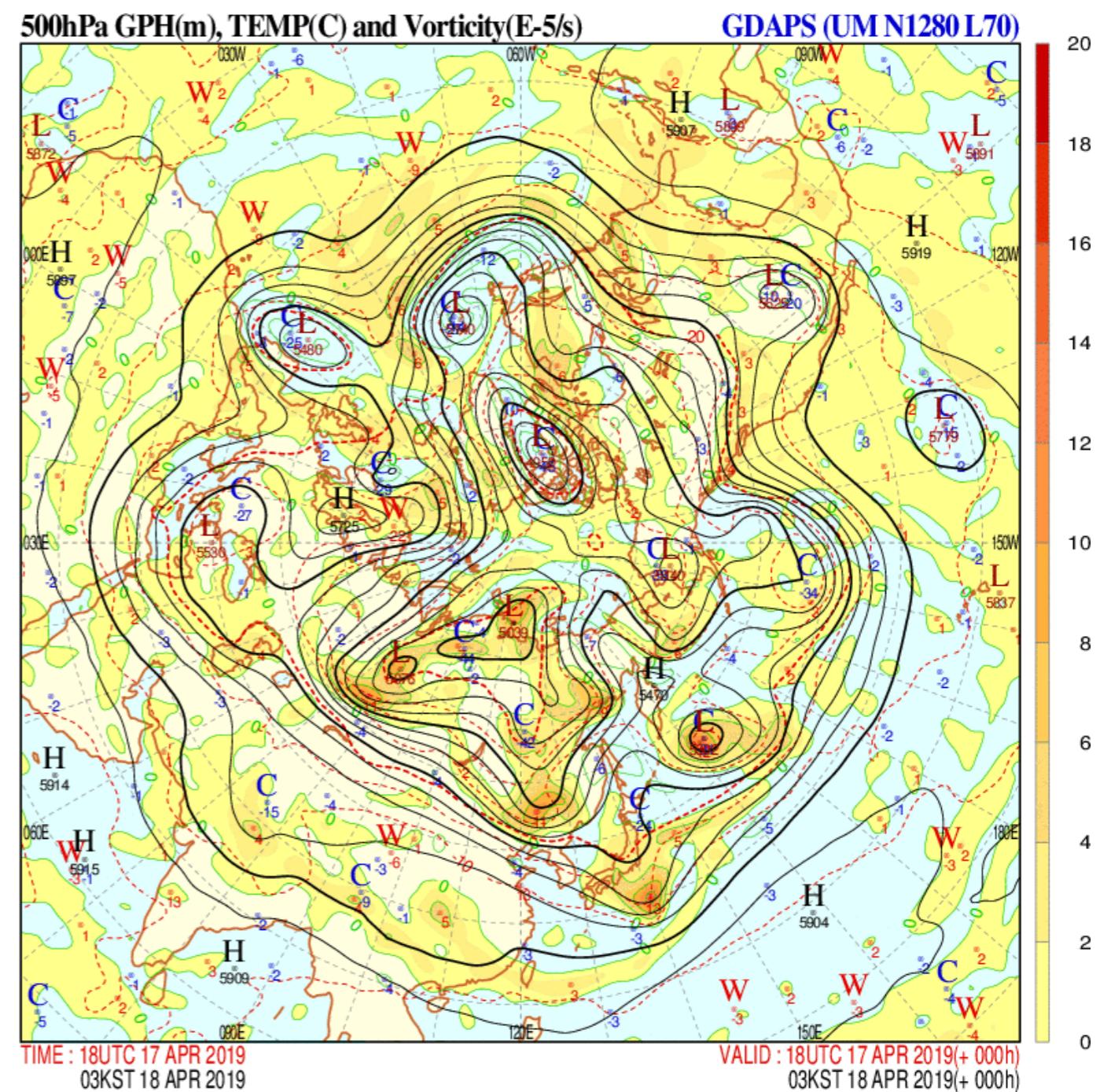
지균풍

- 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



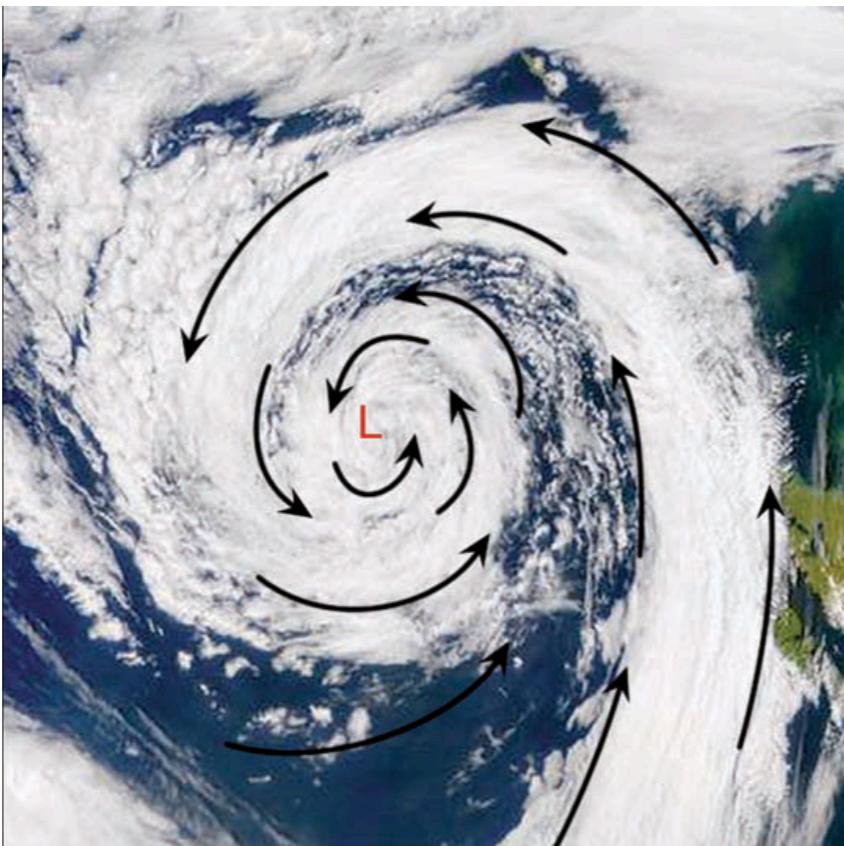
지균풍

- 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.

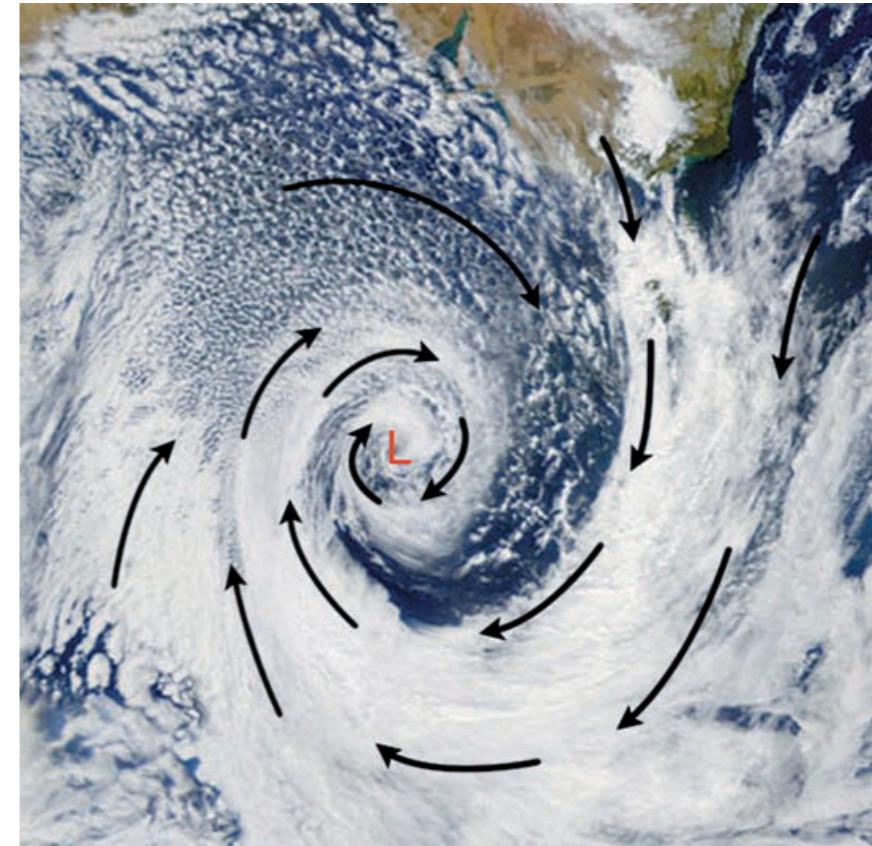


지균풍

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



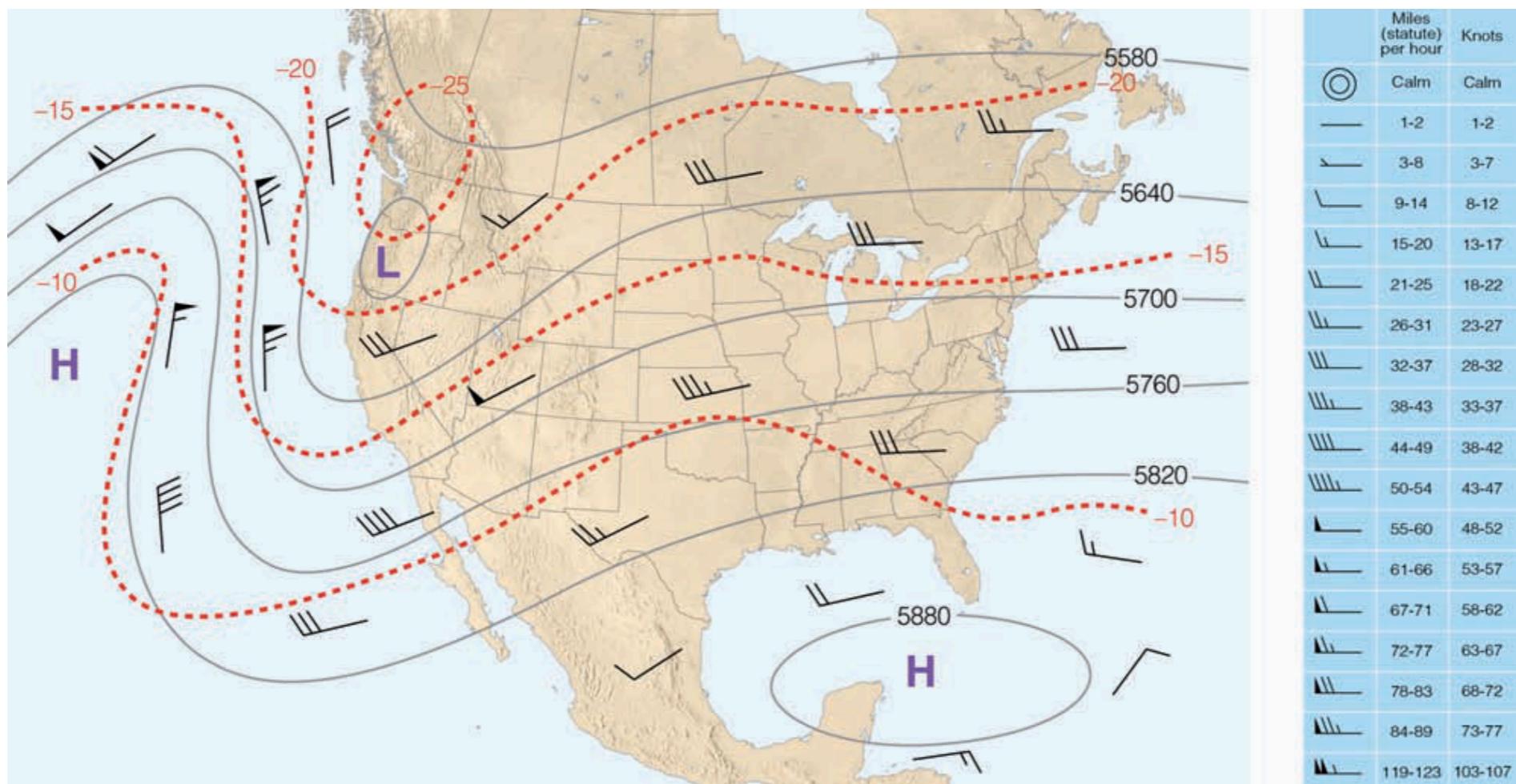
(a) Northern Hemisphere



(b) Southern Hemisphere

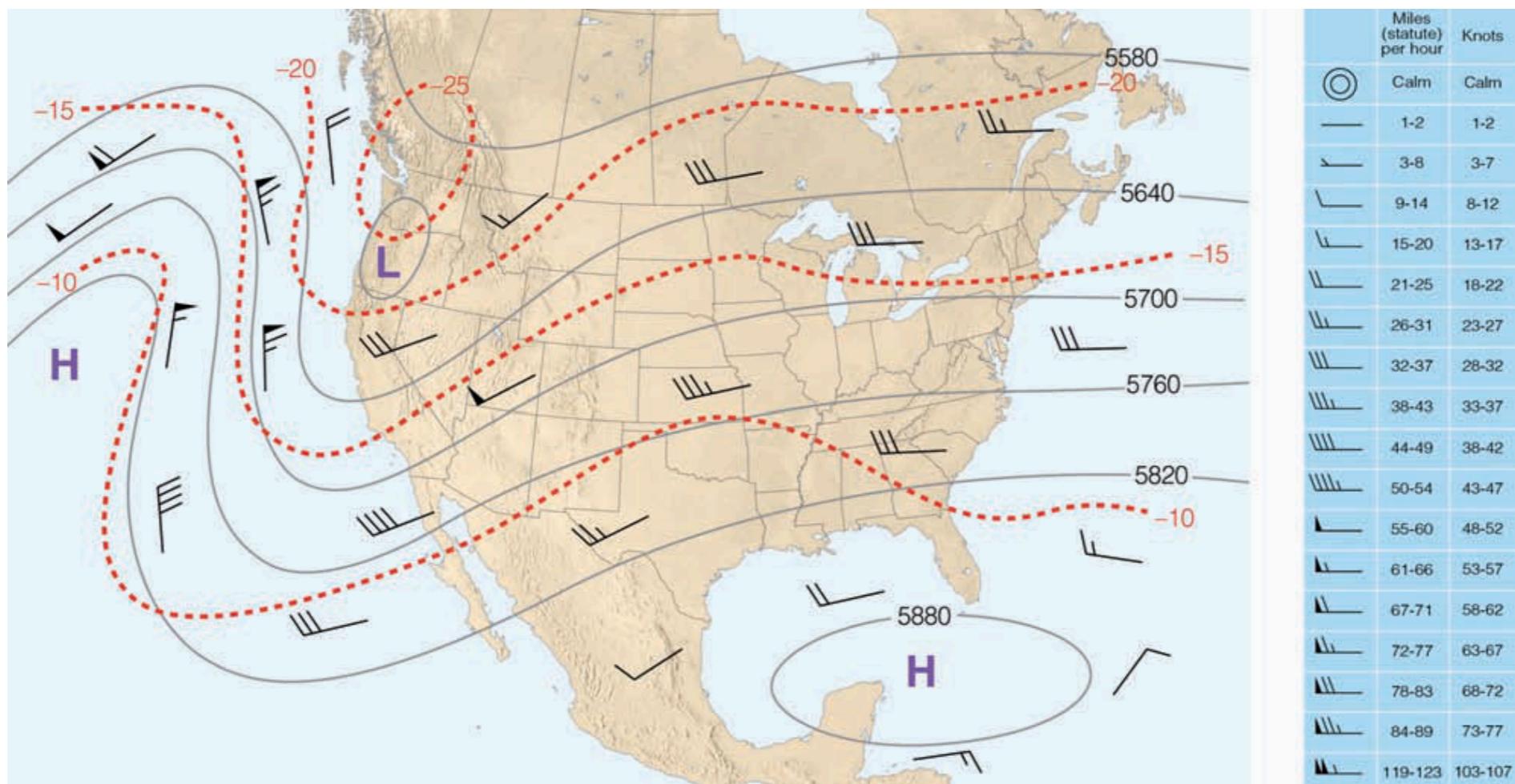
지균풍과 온도

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



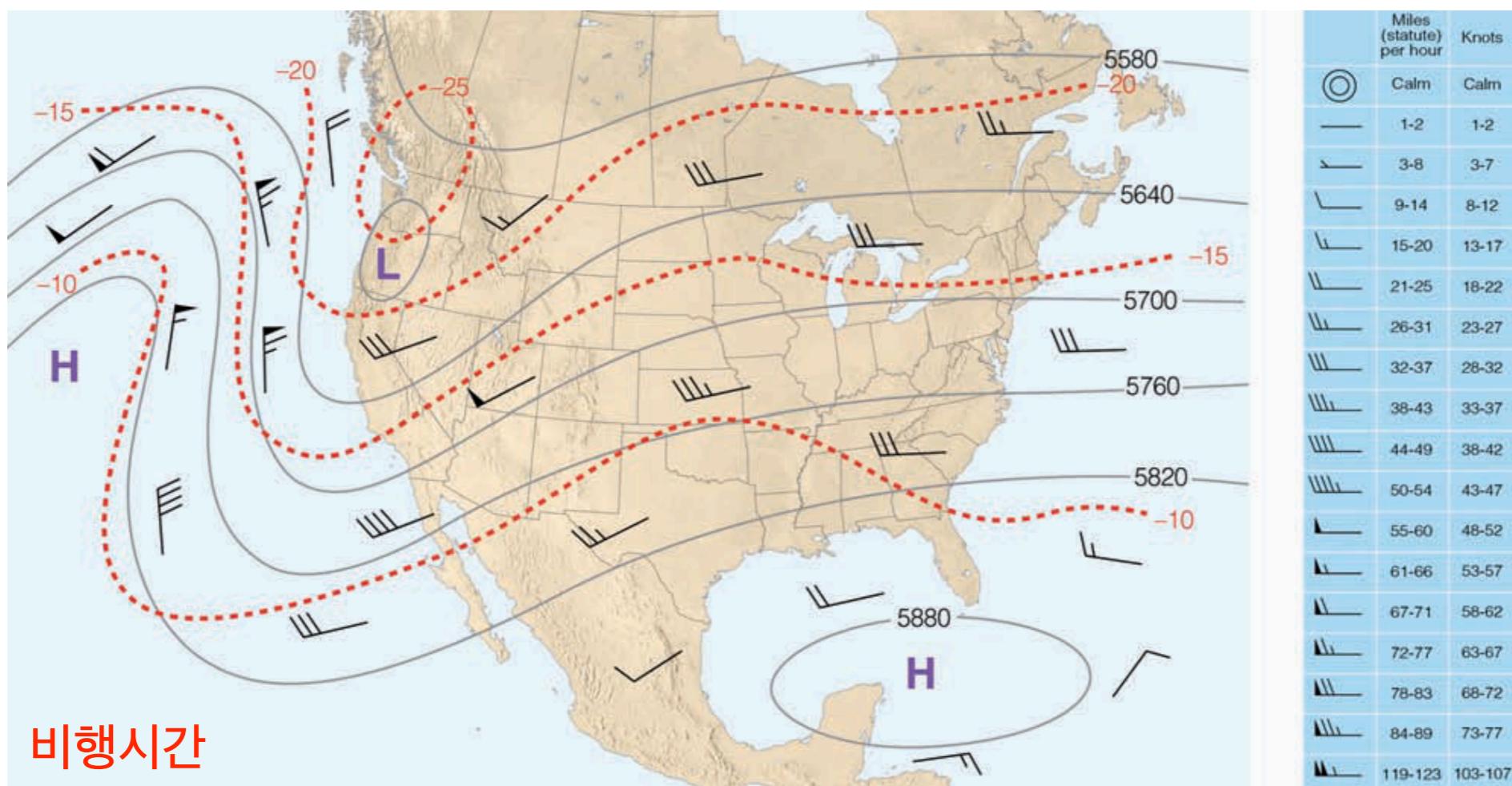
지균풍과 온도

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



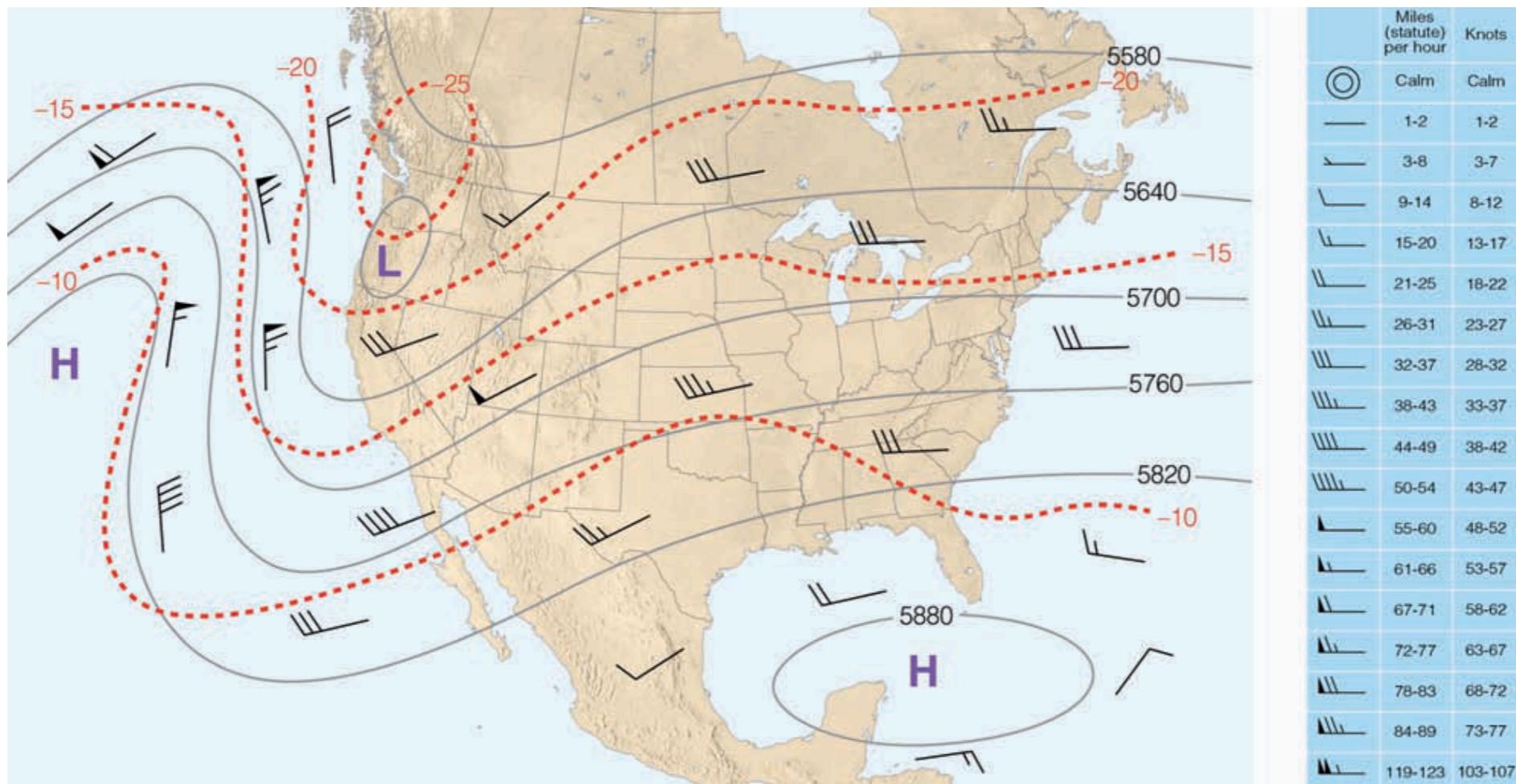
지균풍과 온도

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



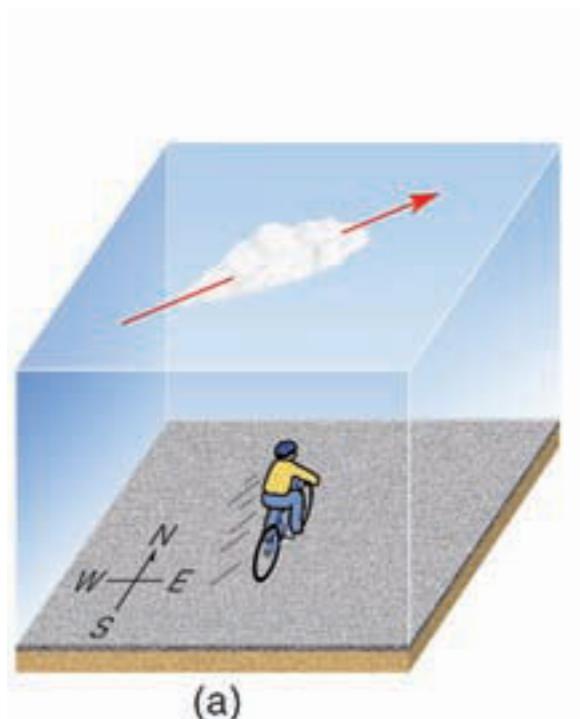
지균풍과 온도

- 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!

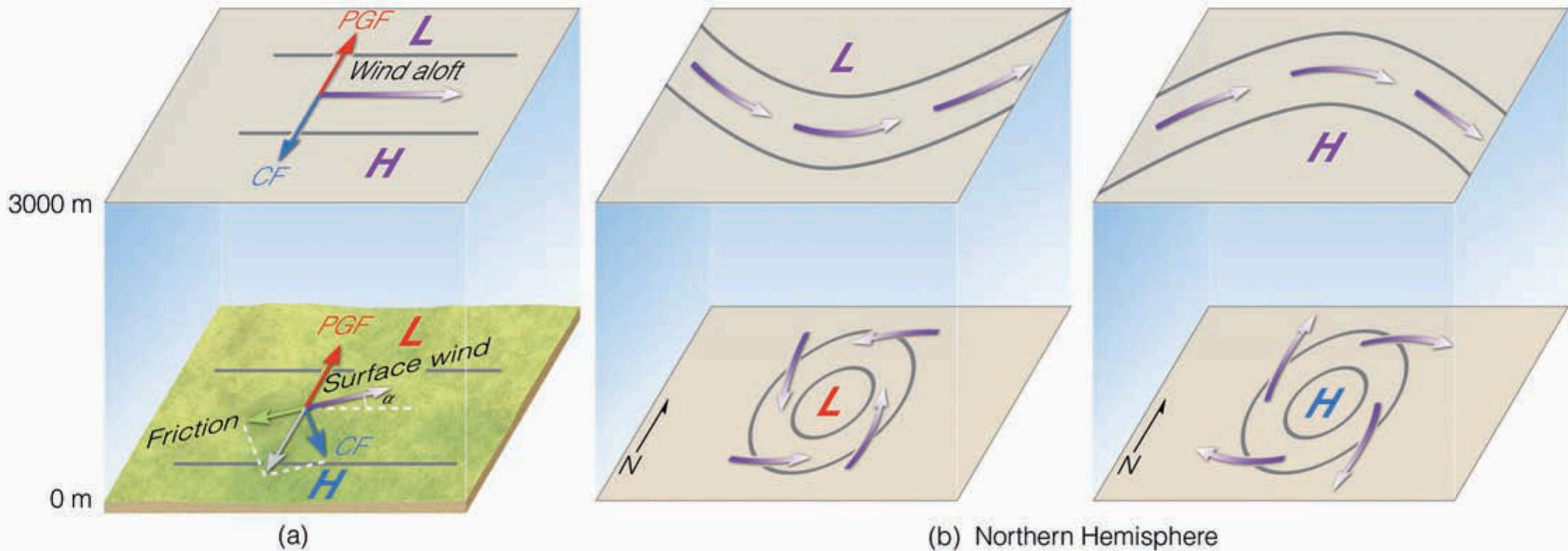


지상의 바람

- 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

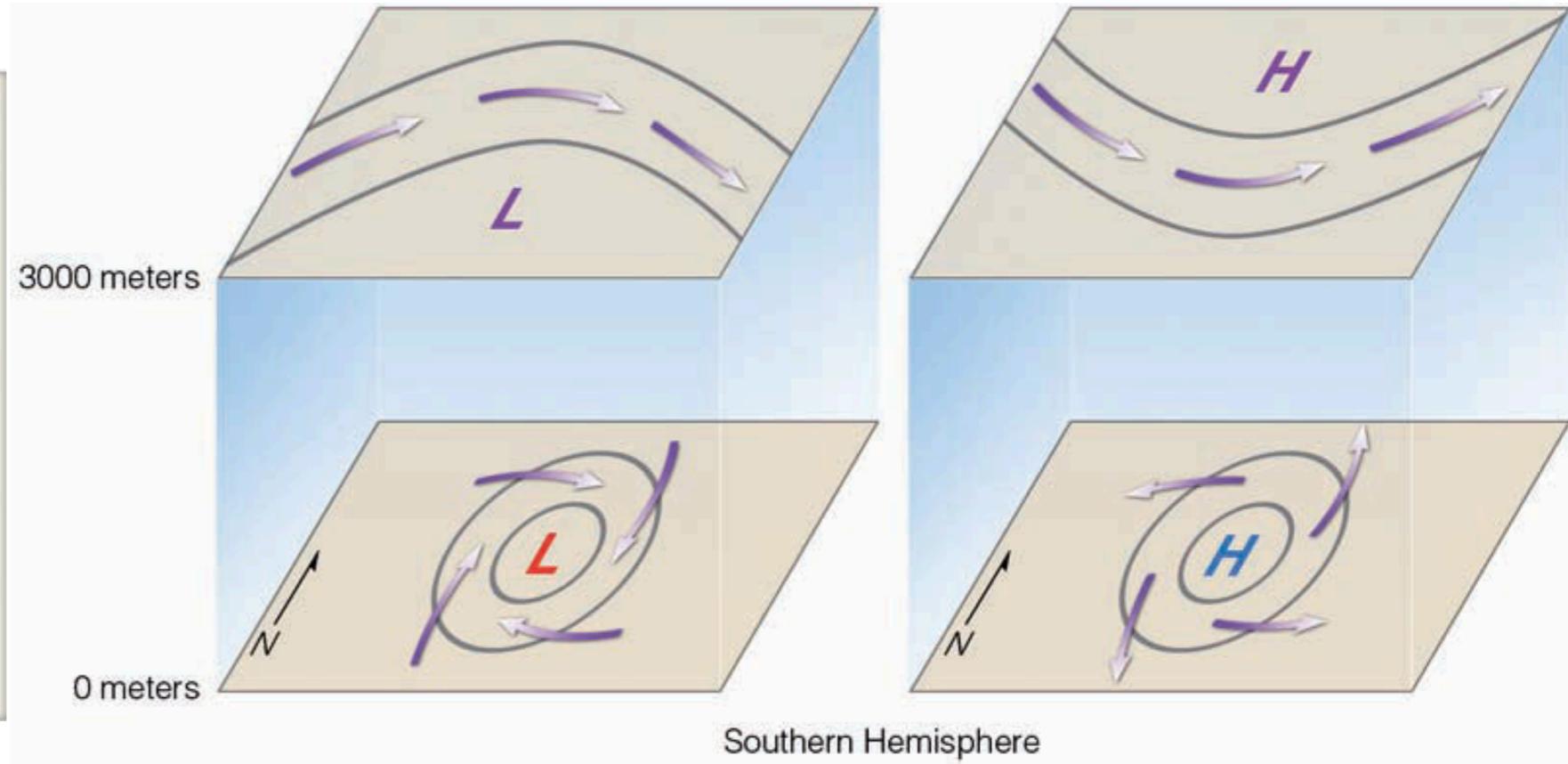
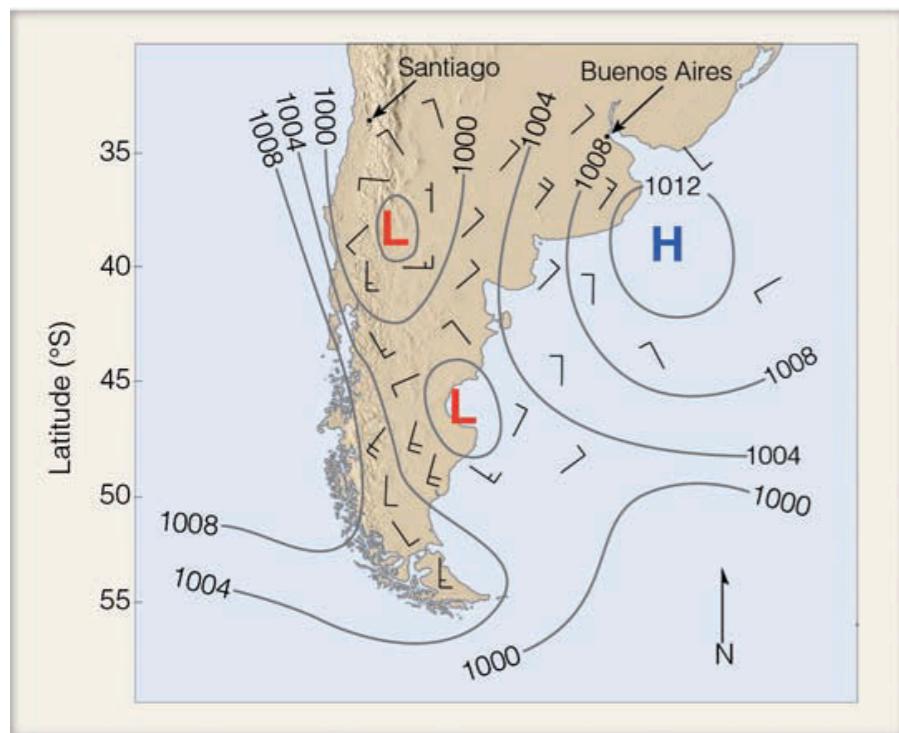
북반구



지상에서 바람은 등압선을 가로지르며 분다.

지상의 바람

남반구



지상에서 바람은 등압선을 가로지르며 분다.

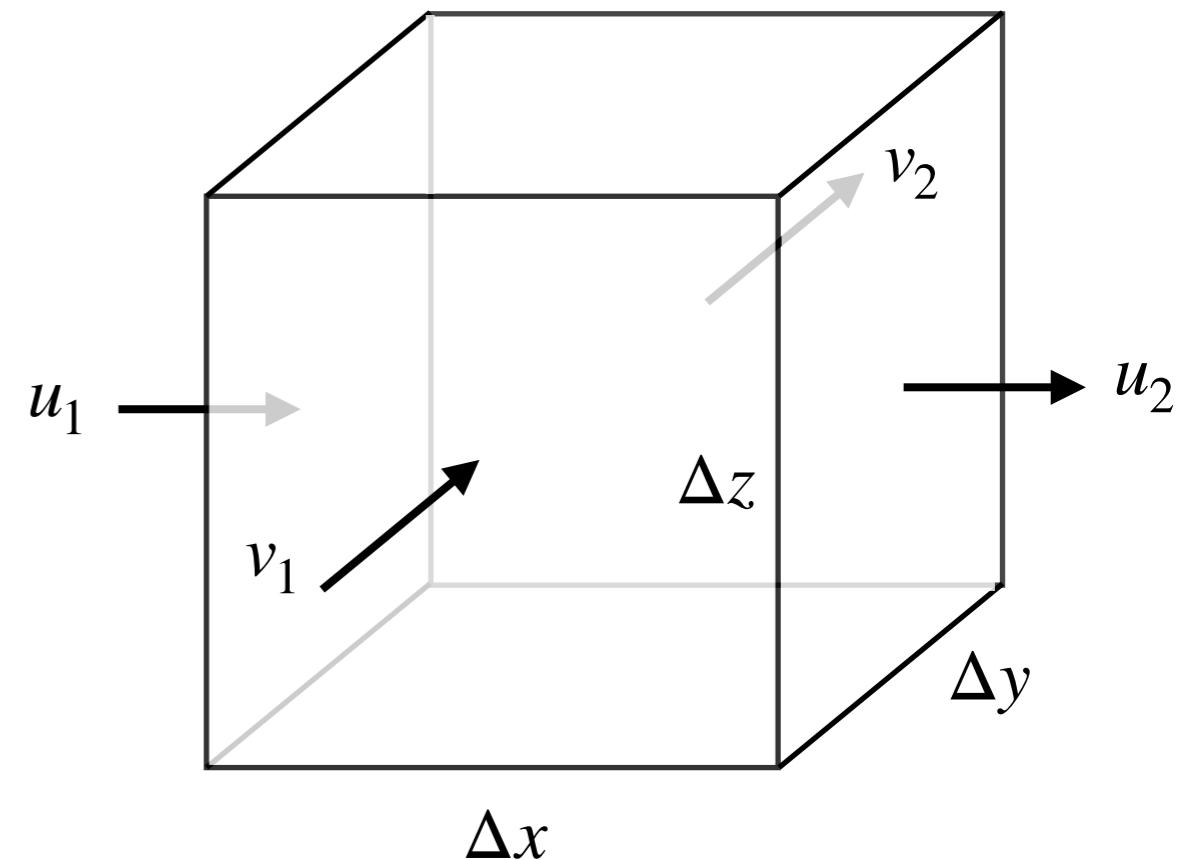
연직 흐름

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

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

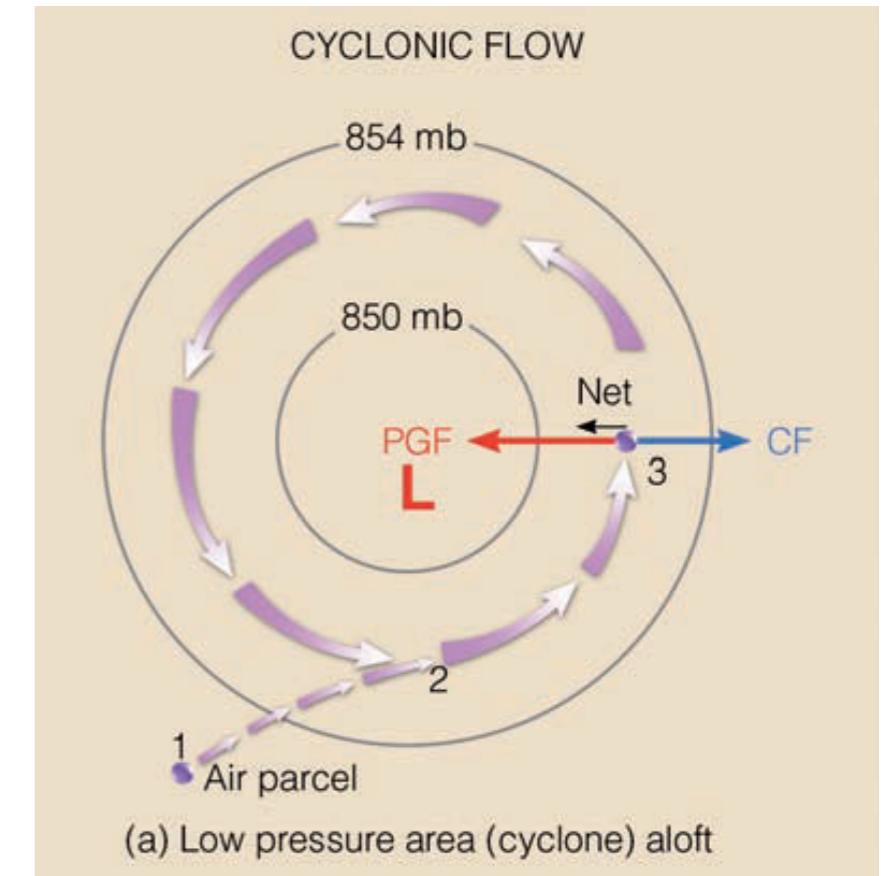
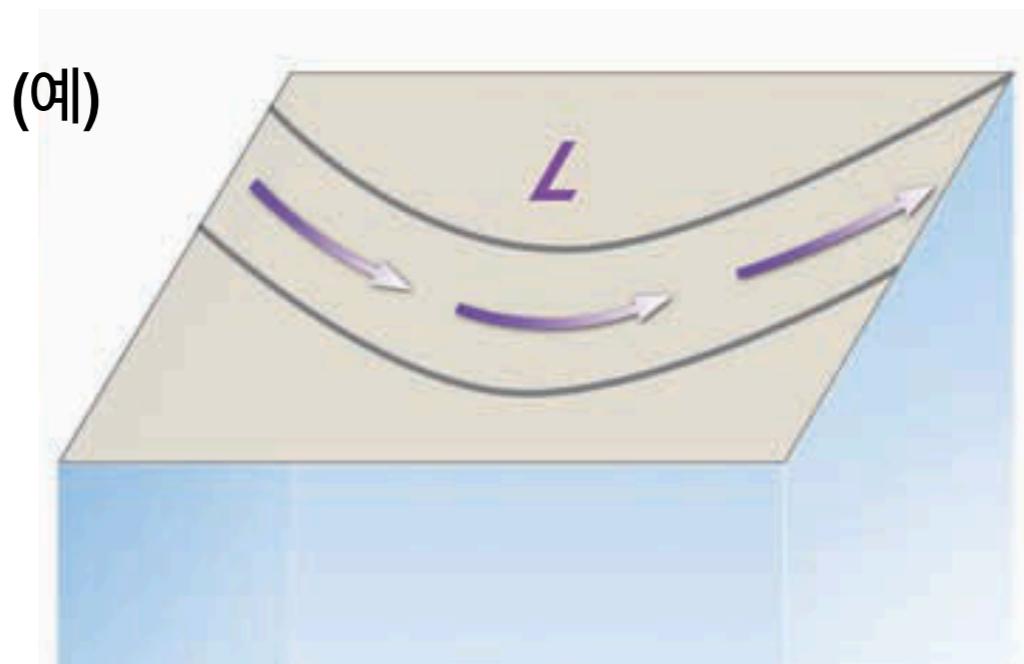
- 발산을 식으로 표현하면,

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



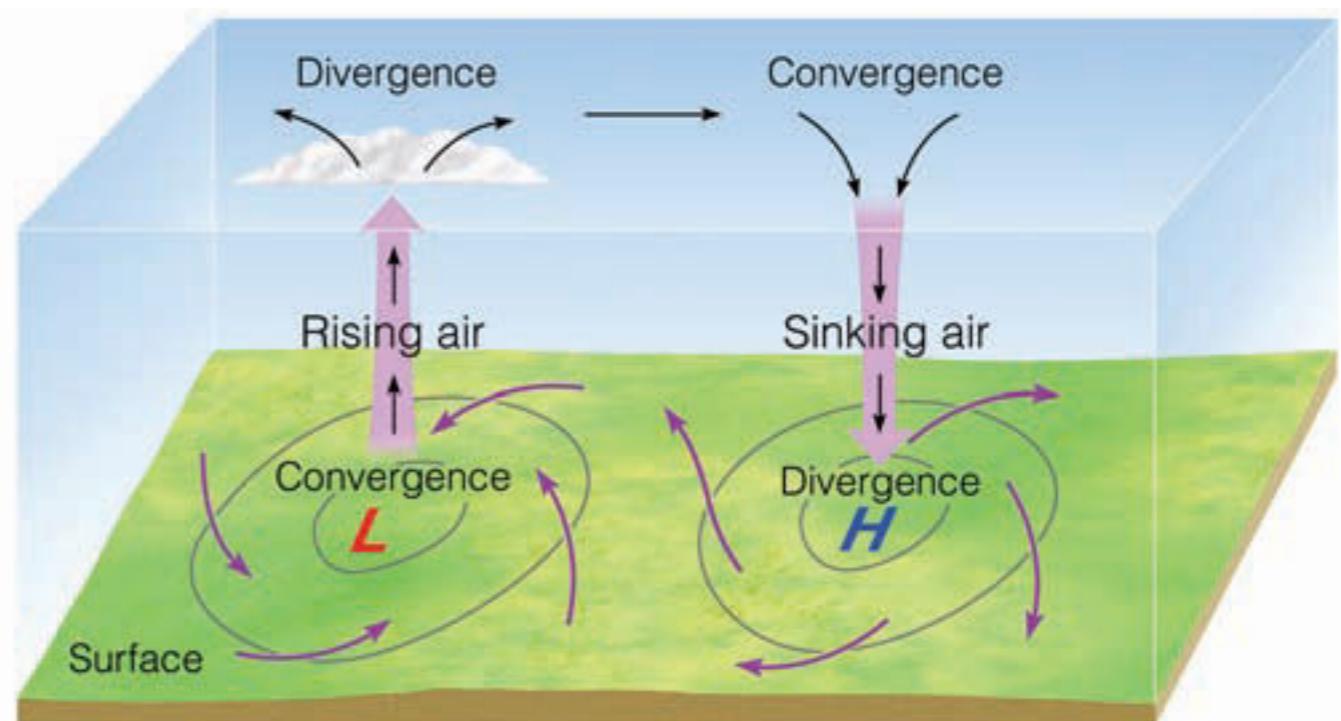
연직 흐름

- 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



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

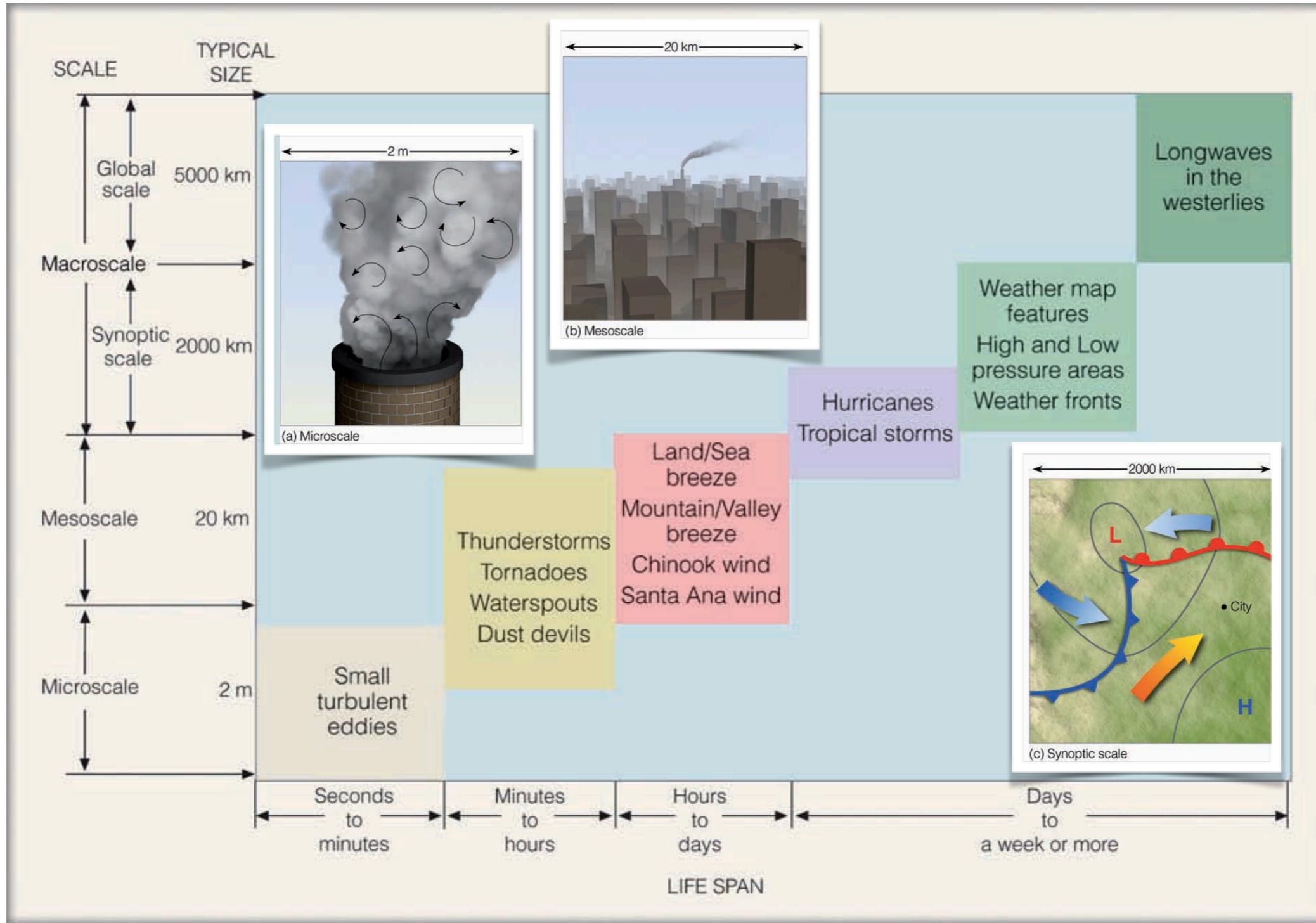


연직 방향의 기압경도력

- 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, $\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta z} + g = 0$



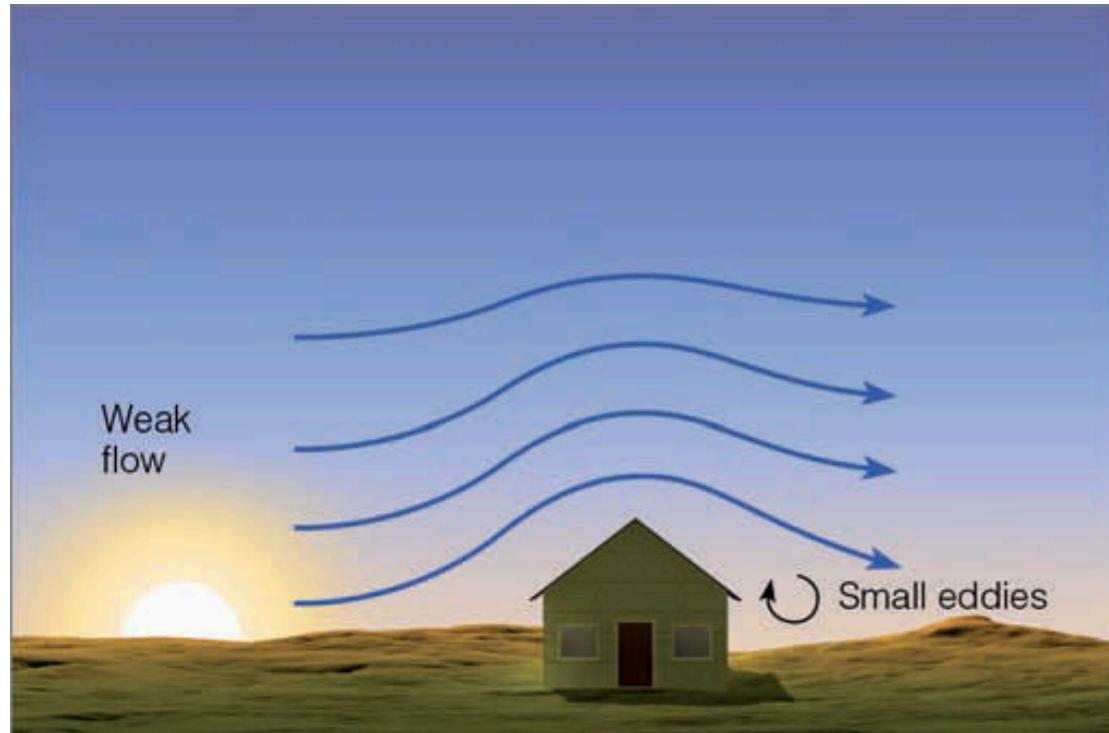
여러가지 규모의 바람



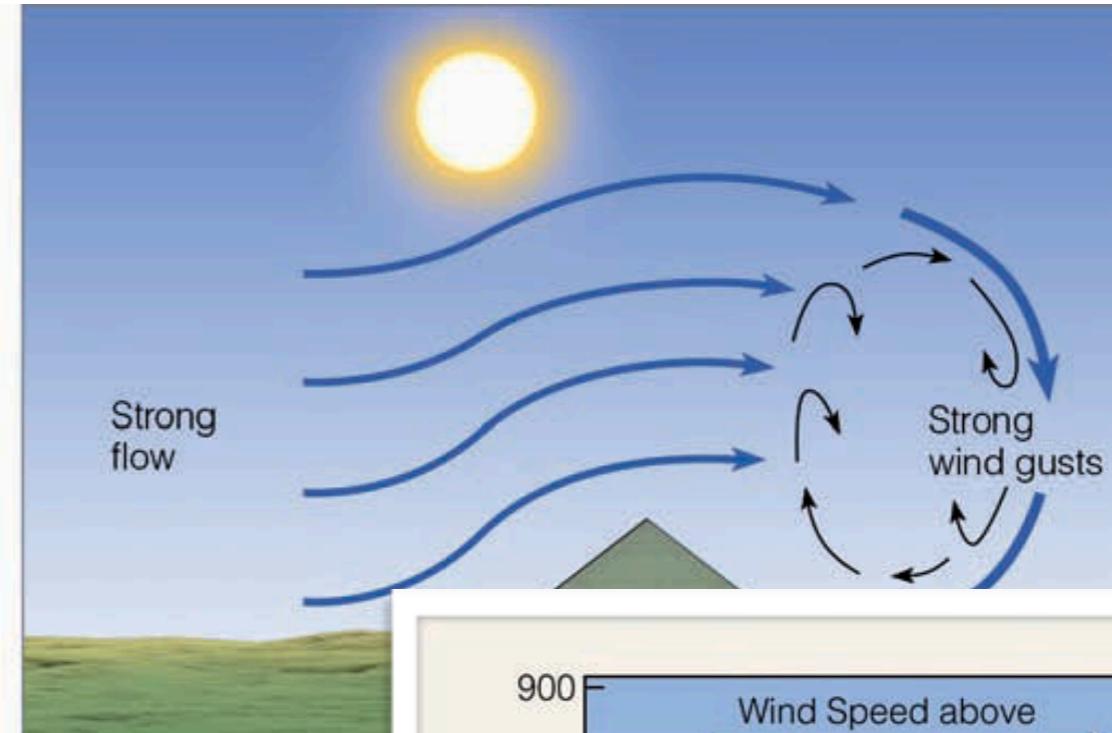
작은 규모의 바람

- 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

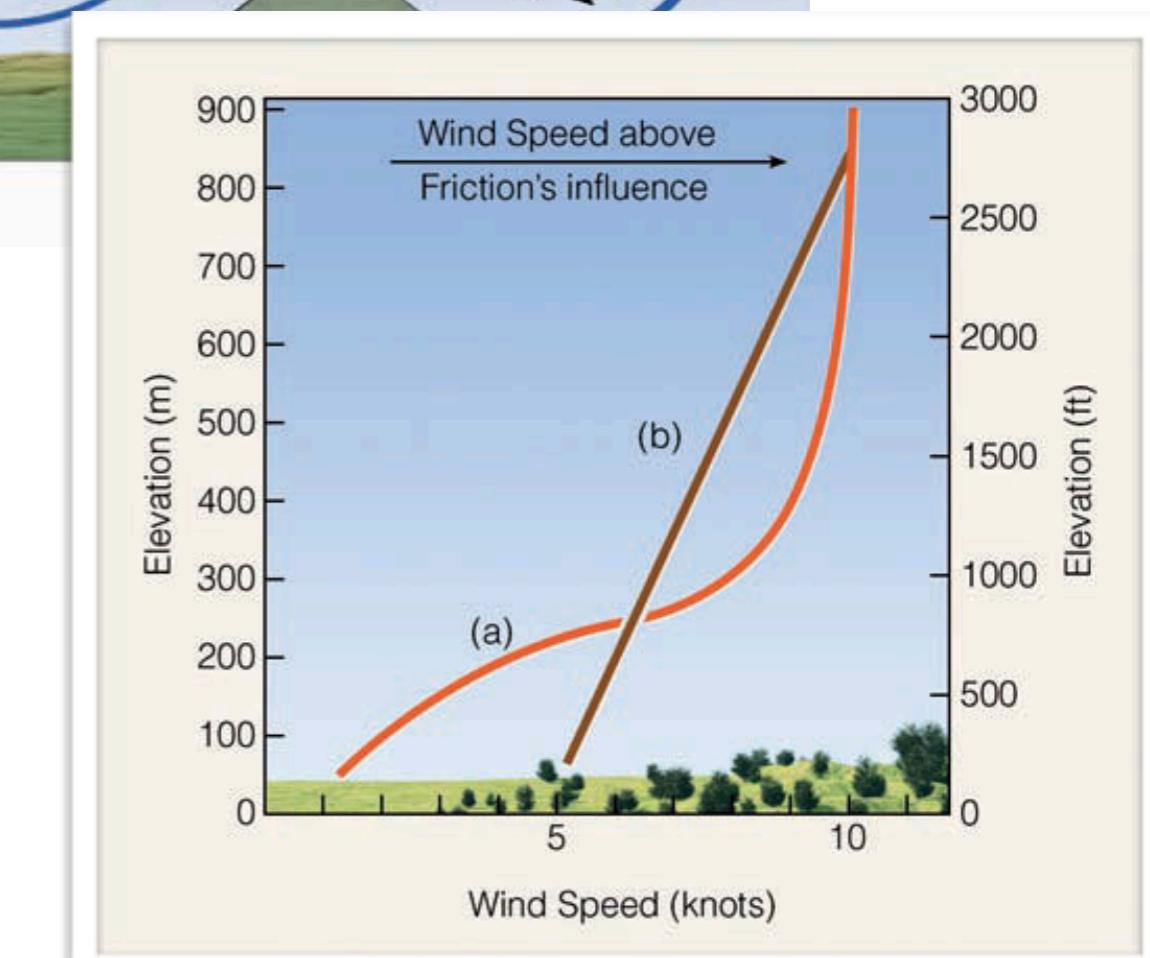
작은 규모의 바람



(a) Stable air

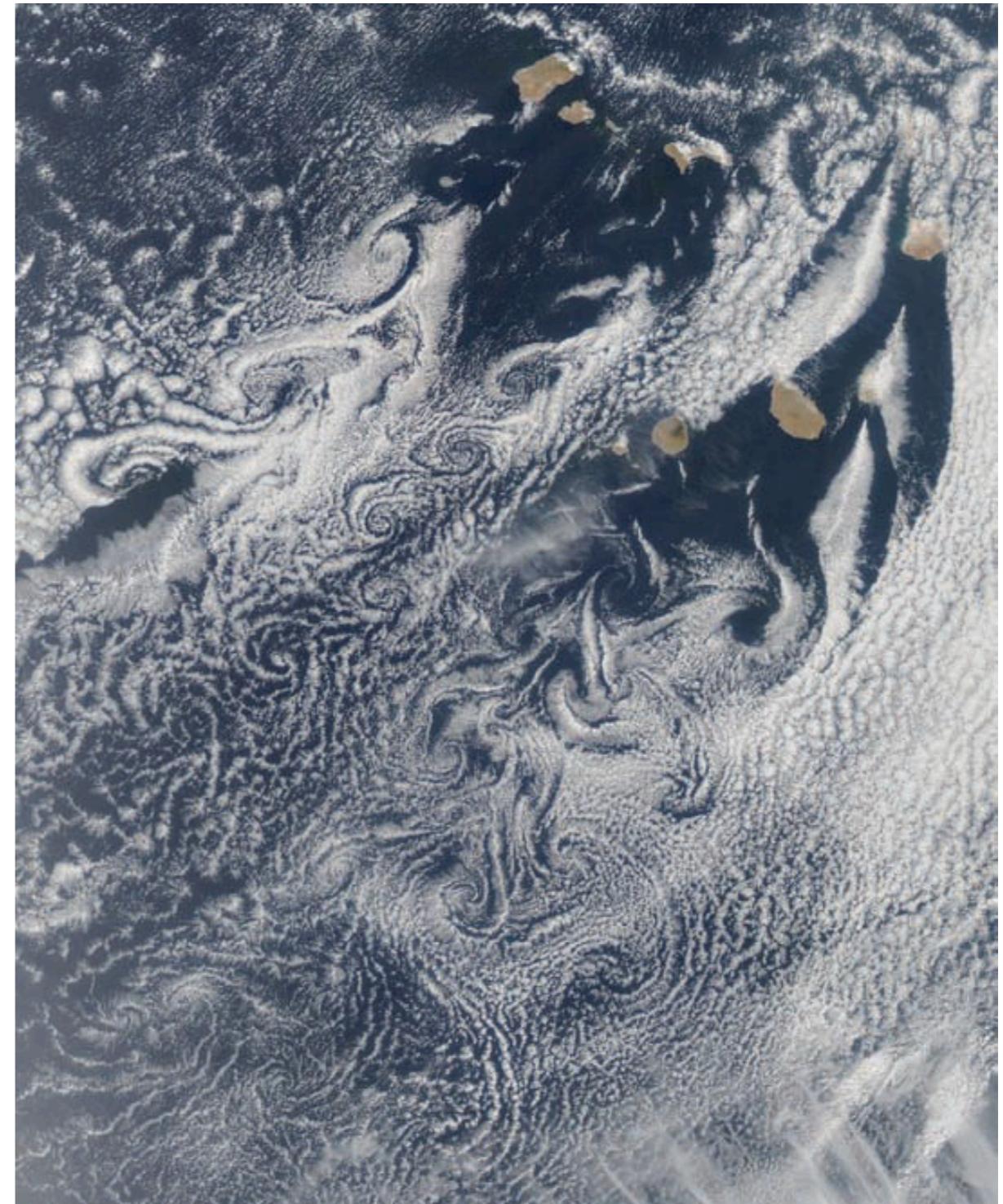
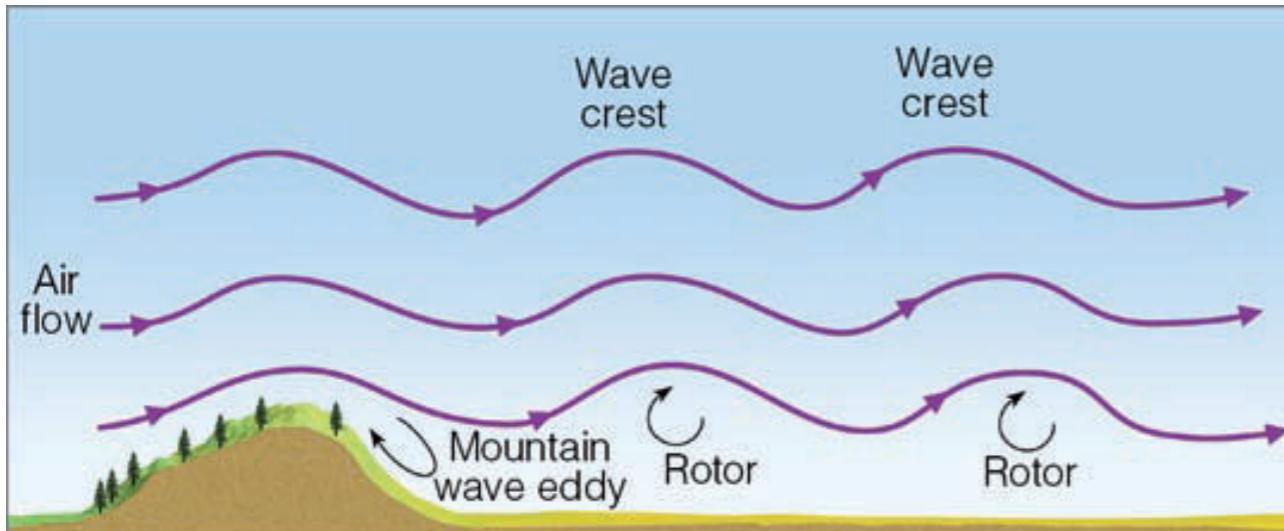


(b) Unstable air

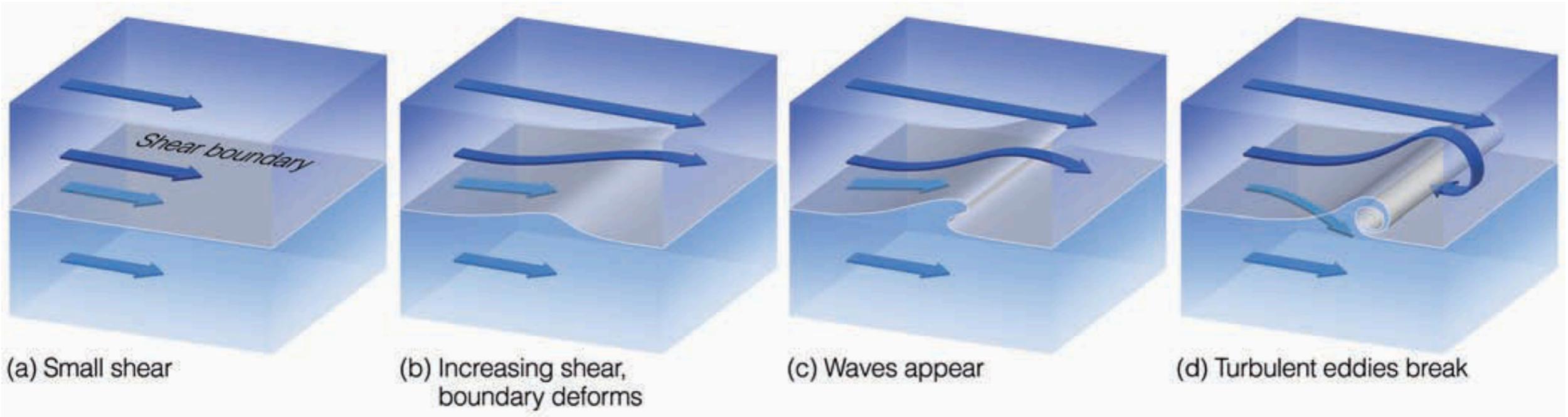


에디

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



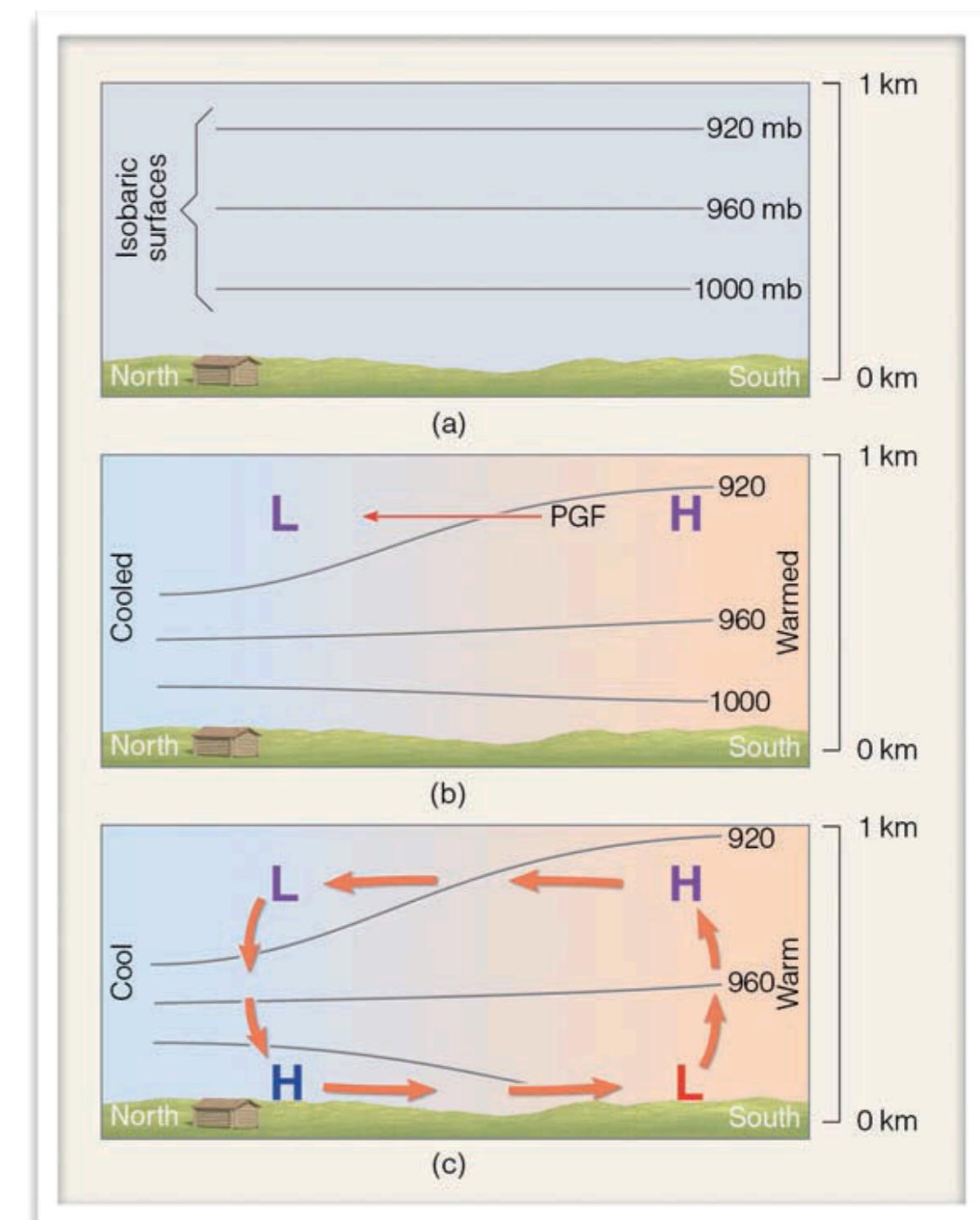
Eddies and “air pockets”



Clear air turbulence (CAT)

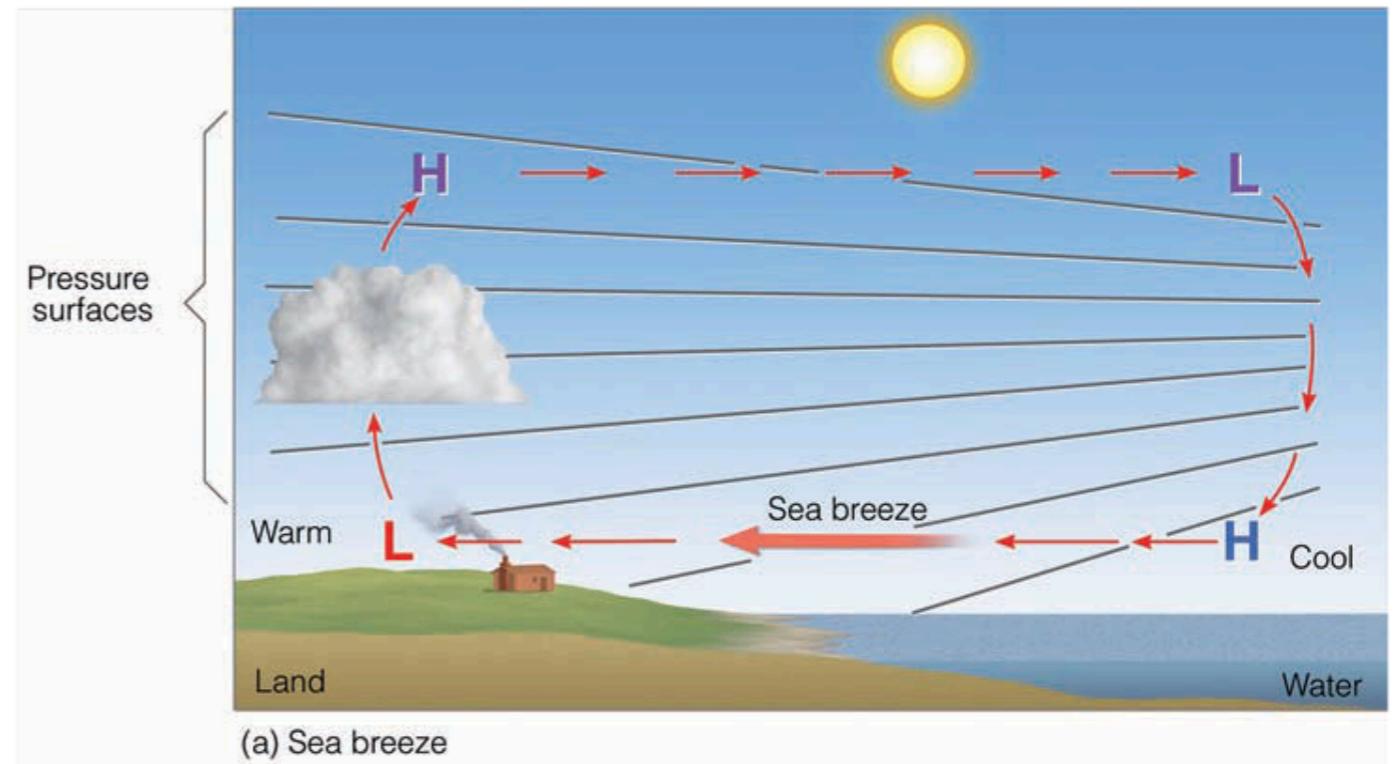
열순환에 의한 바람

- 온도에 의한 공기 순환 및 바람
- 가열로 인한 공기 팽창
- 상층 기압경도력 발생
- 하층 기압경도력 유발
- 바람
- 작은 시스템 ($\sim 1 \text{ km}$)

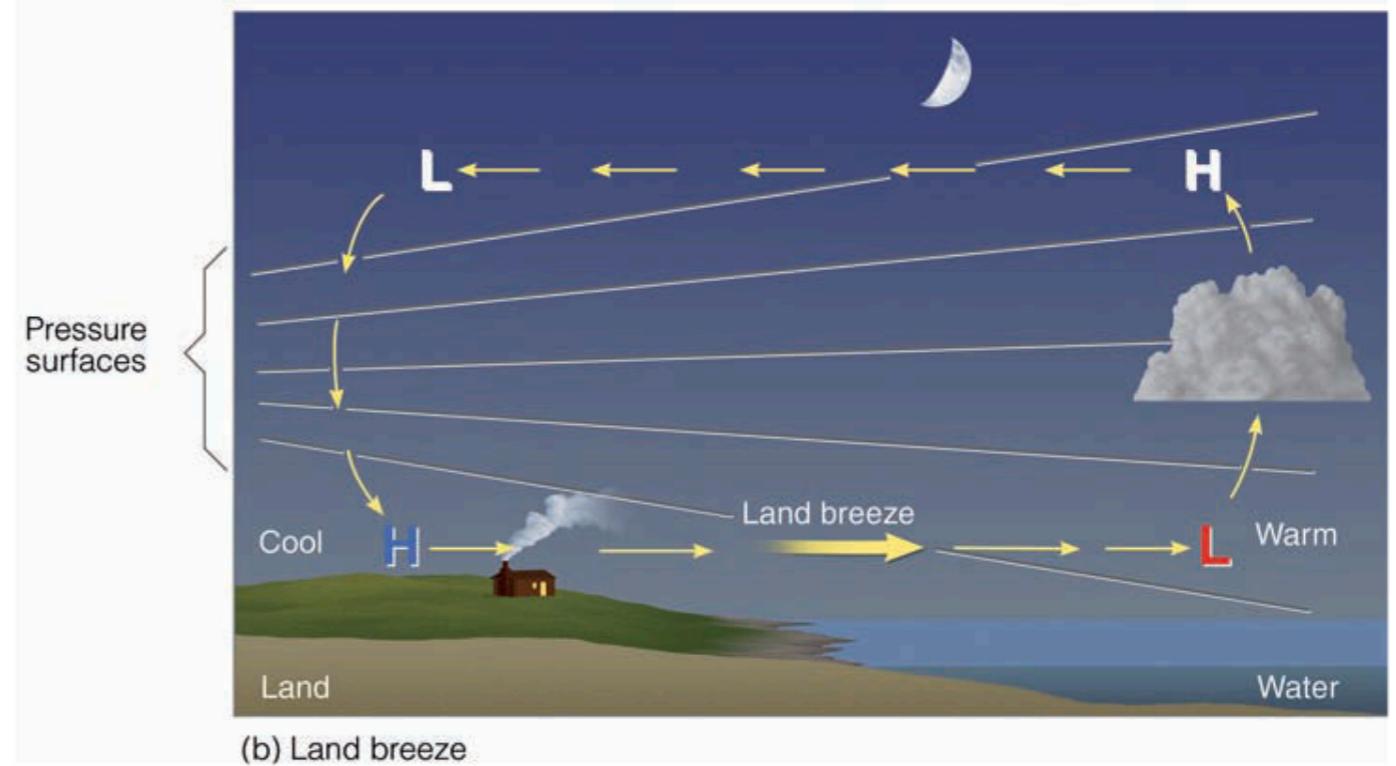


해륙풍

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



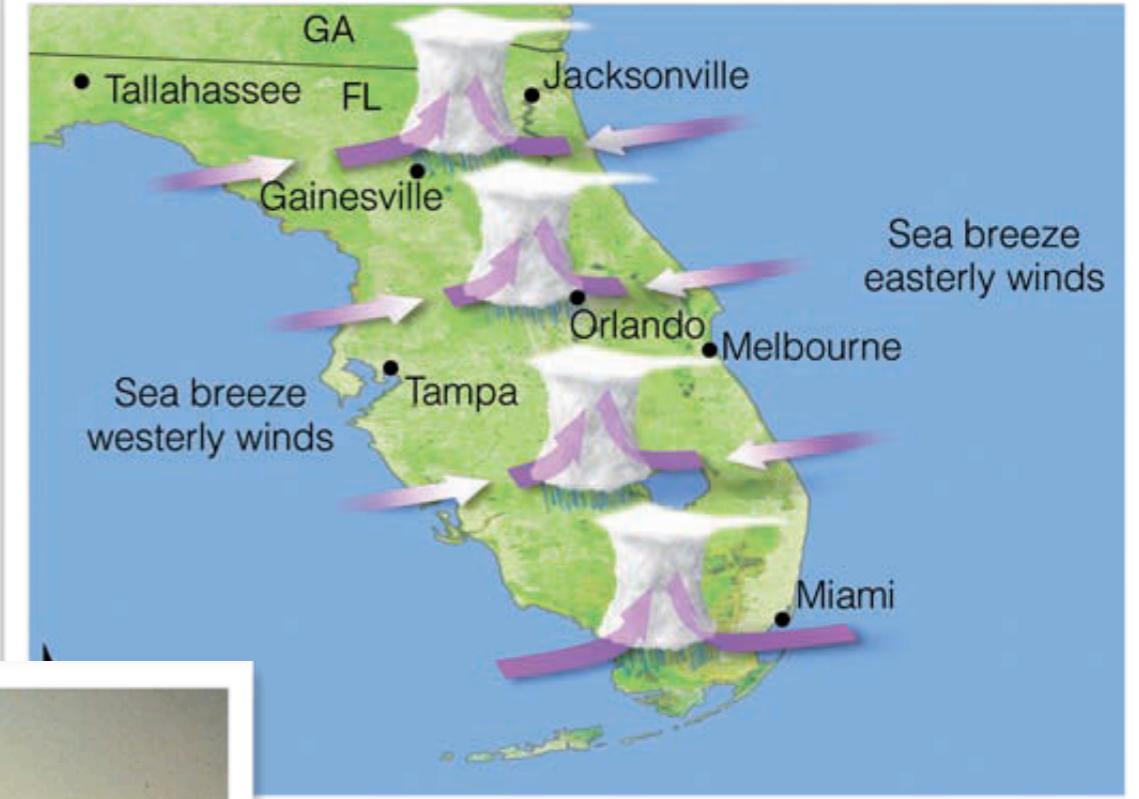
(a) Sea breeze



(b) Land breeze

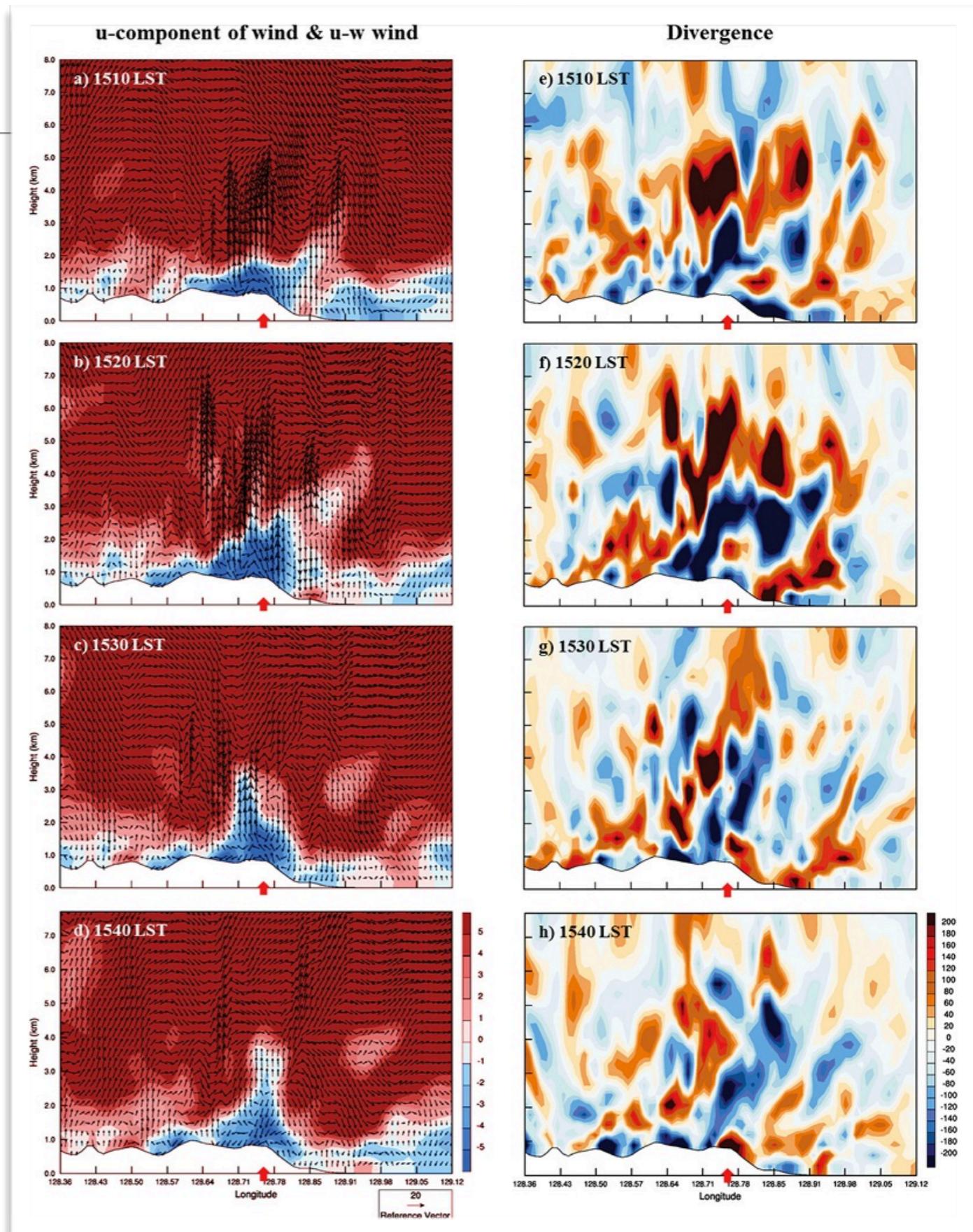
해륙풍

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



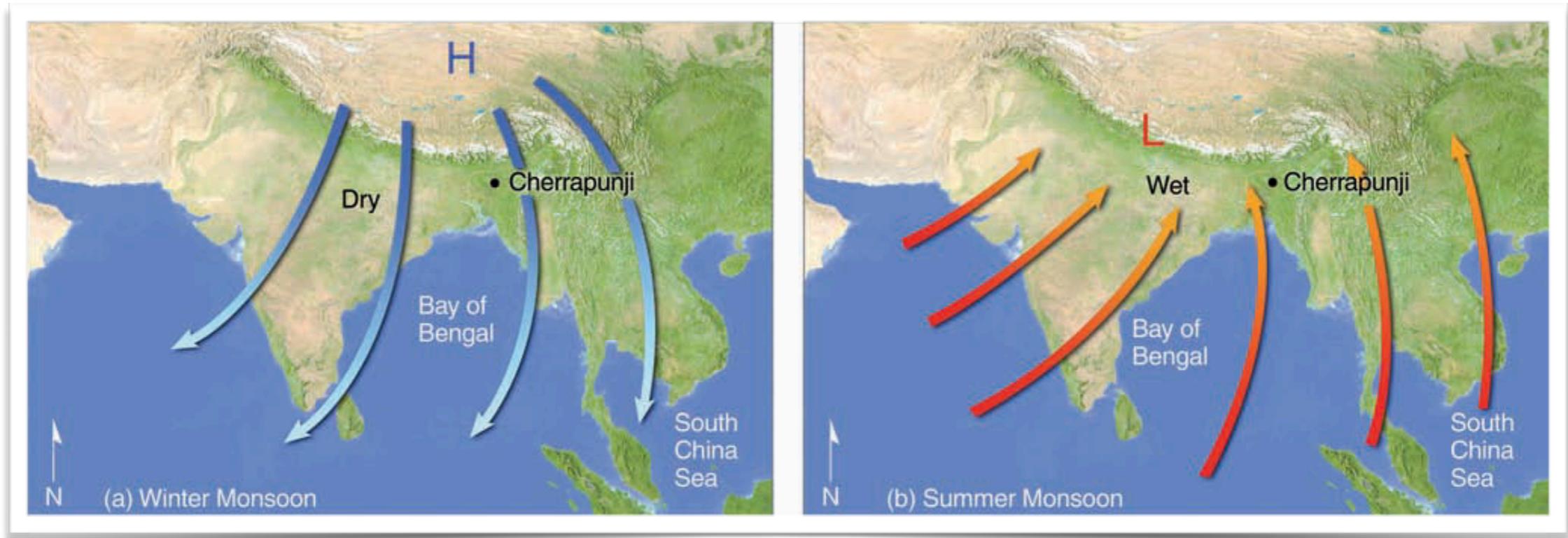
해륙풍

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



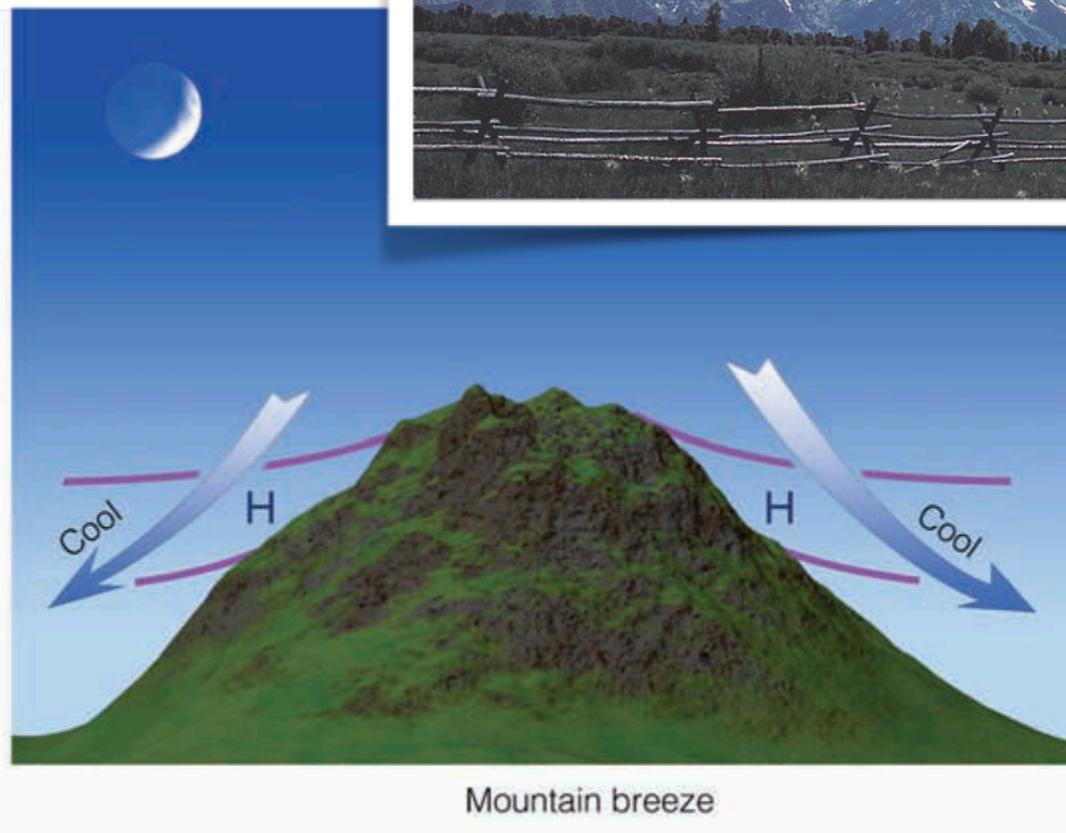
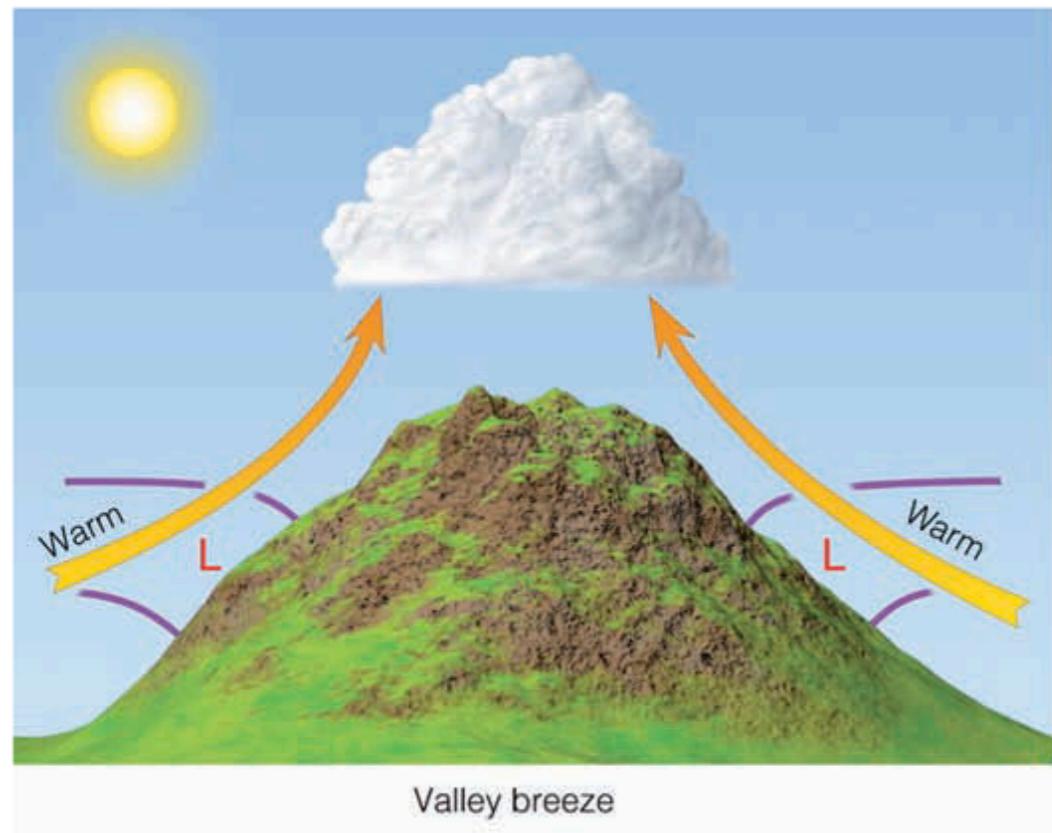
계절풍

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



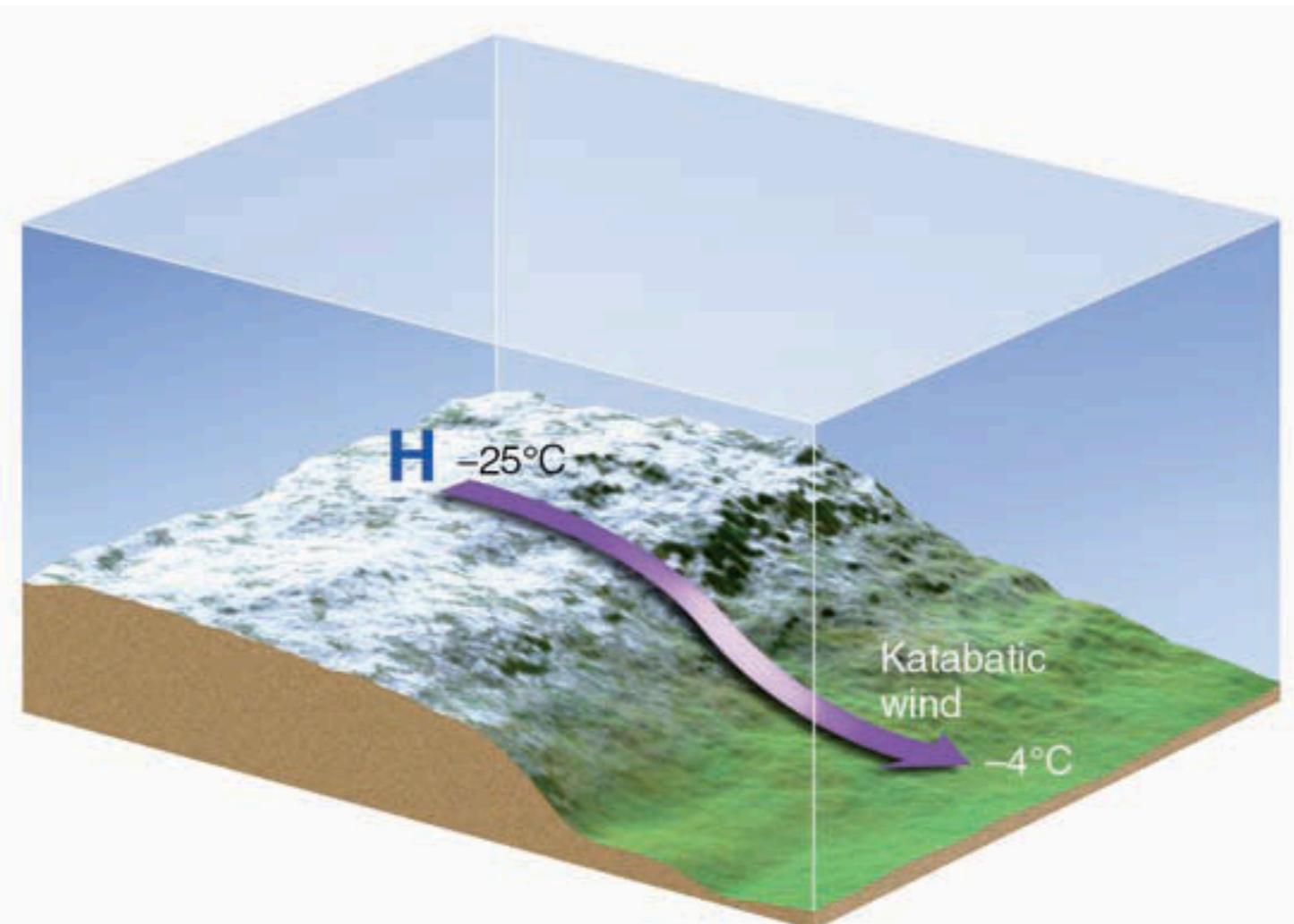
산악풍, 계곡풍 (mountain and valley breeze)

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



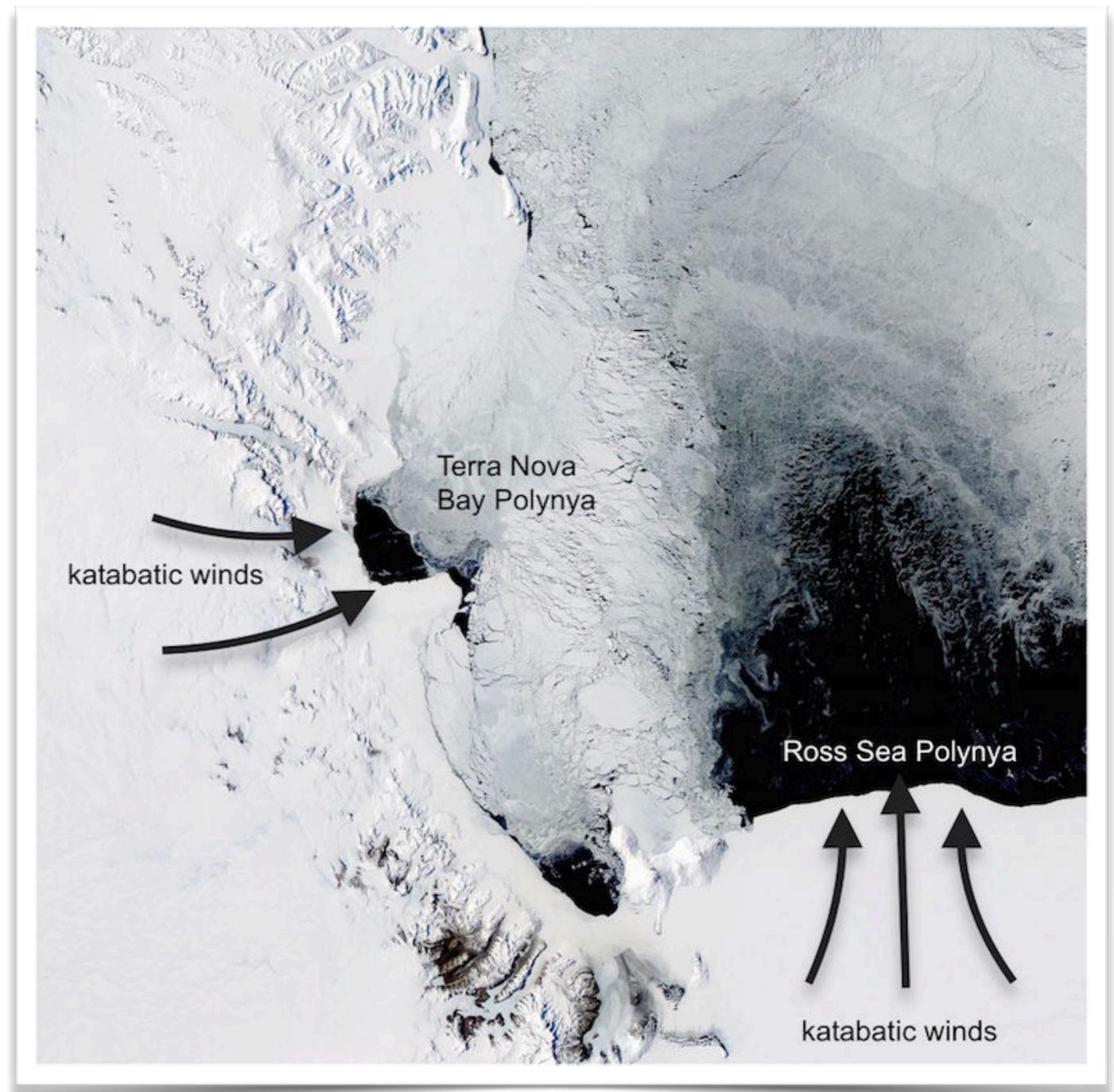
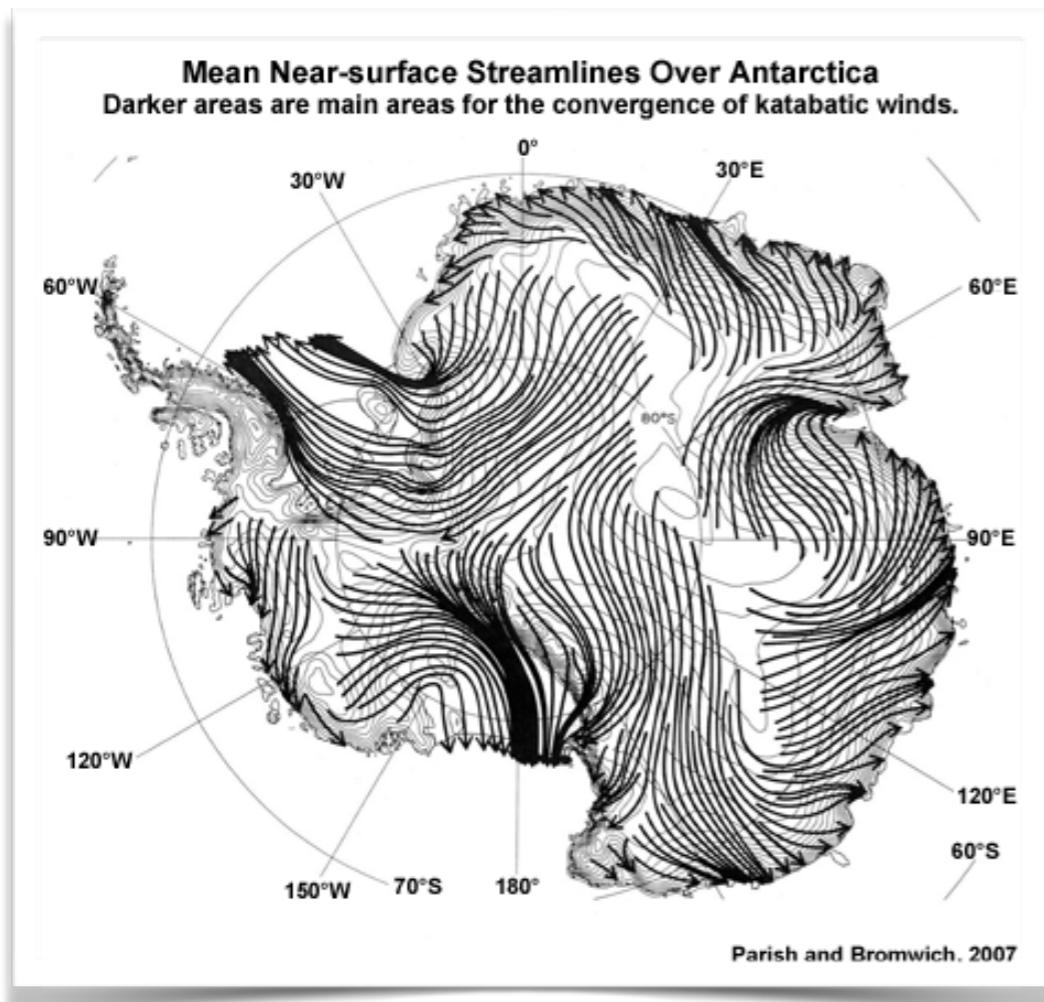
Katabatic wind

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



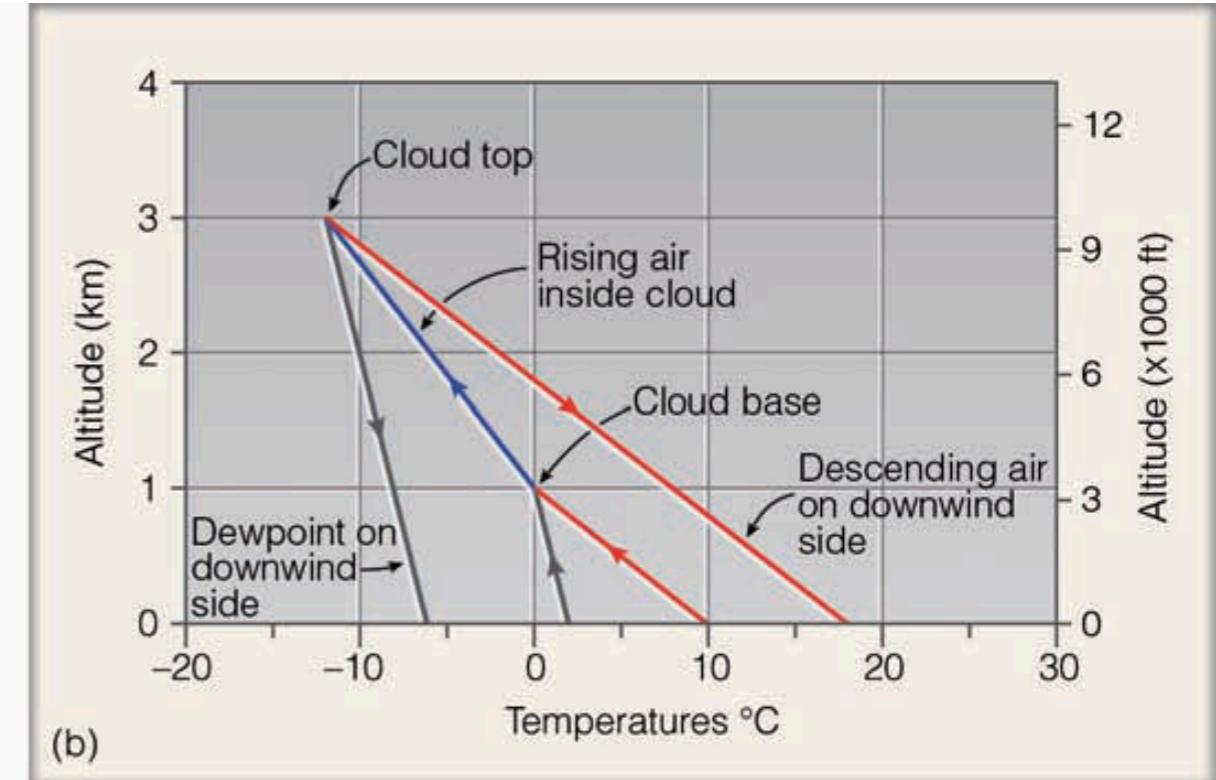
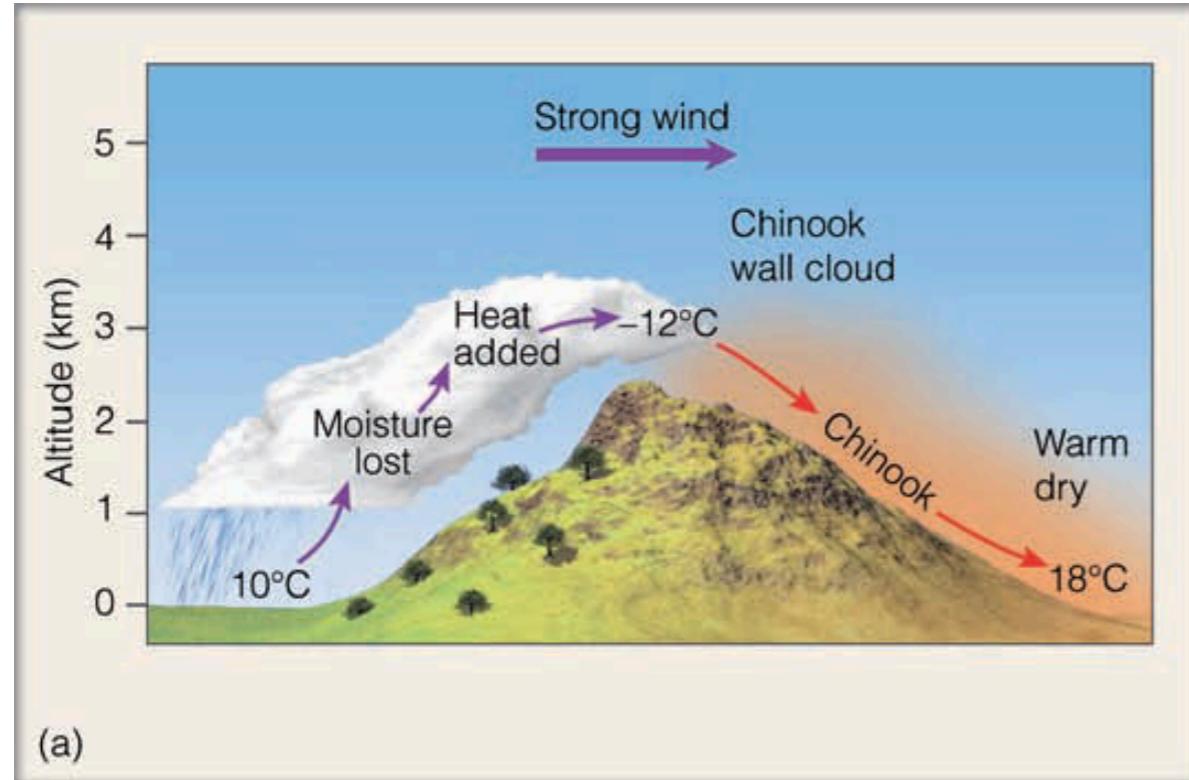
Katabatic wind

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



瘋 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

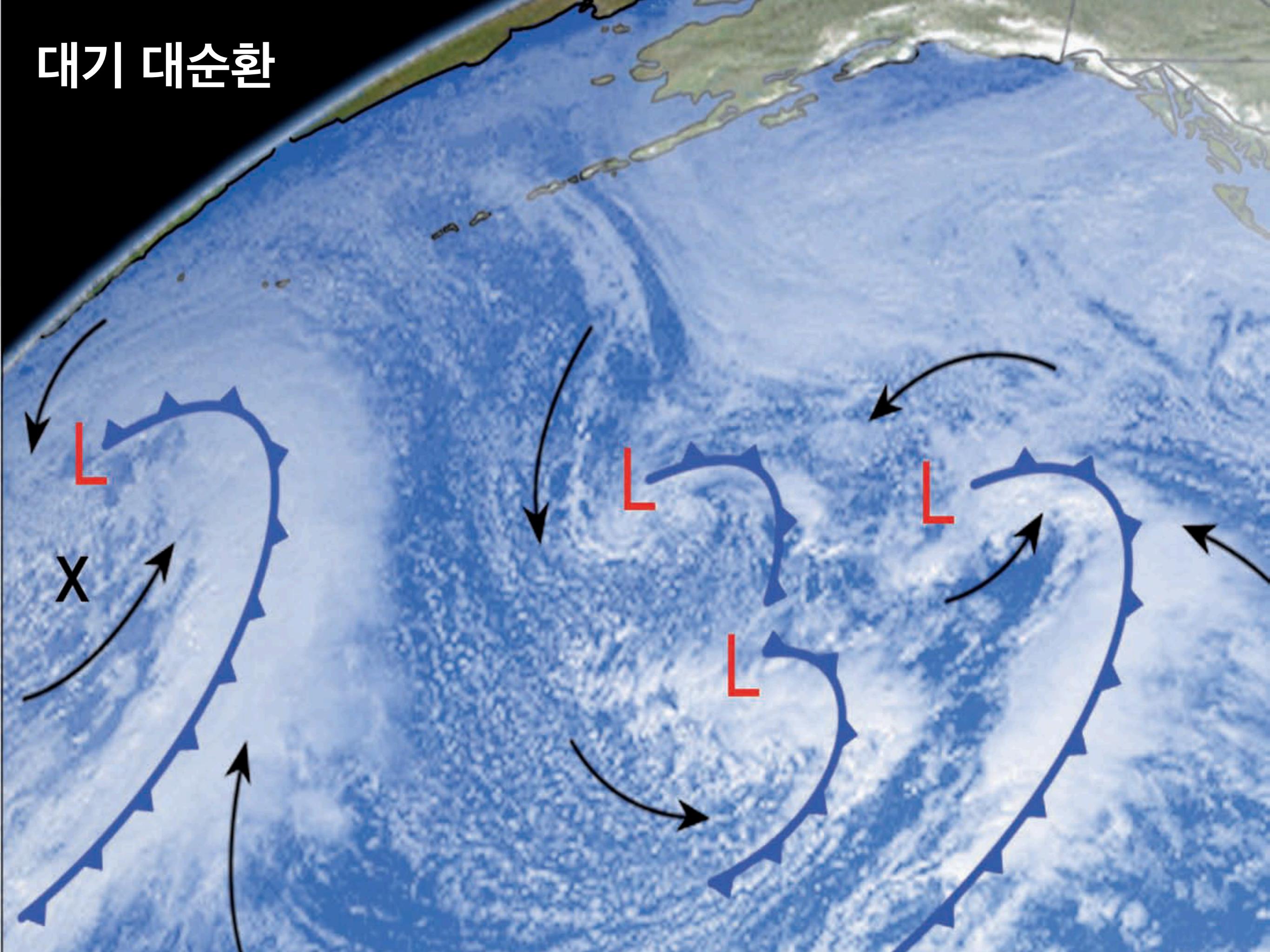
- 미국 서부에서 바다로 불어나가는 뜨겁고 건조한 바람
- 캘리포니아 산불



48 °C for two days!



대기 대순환



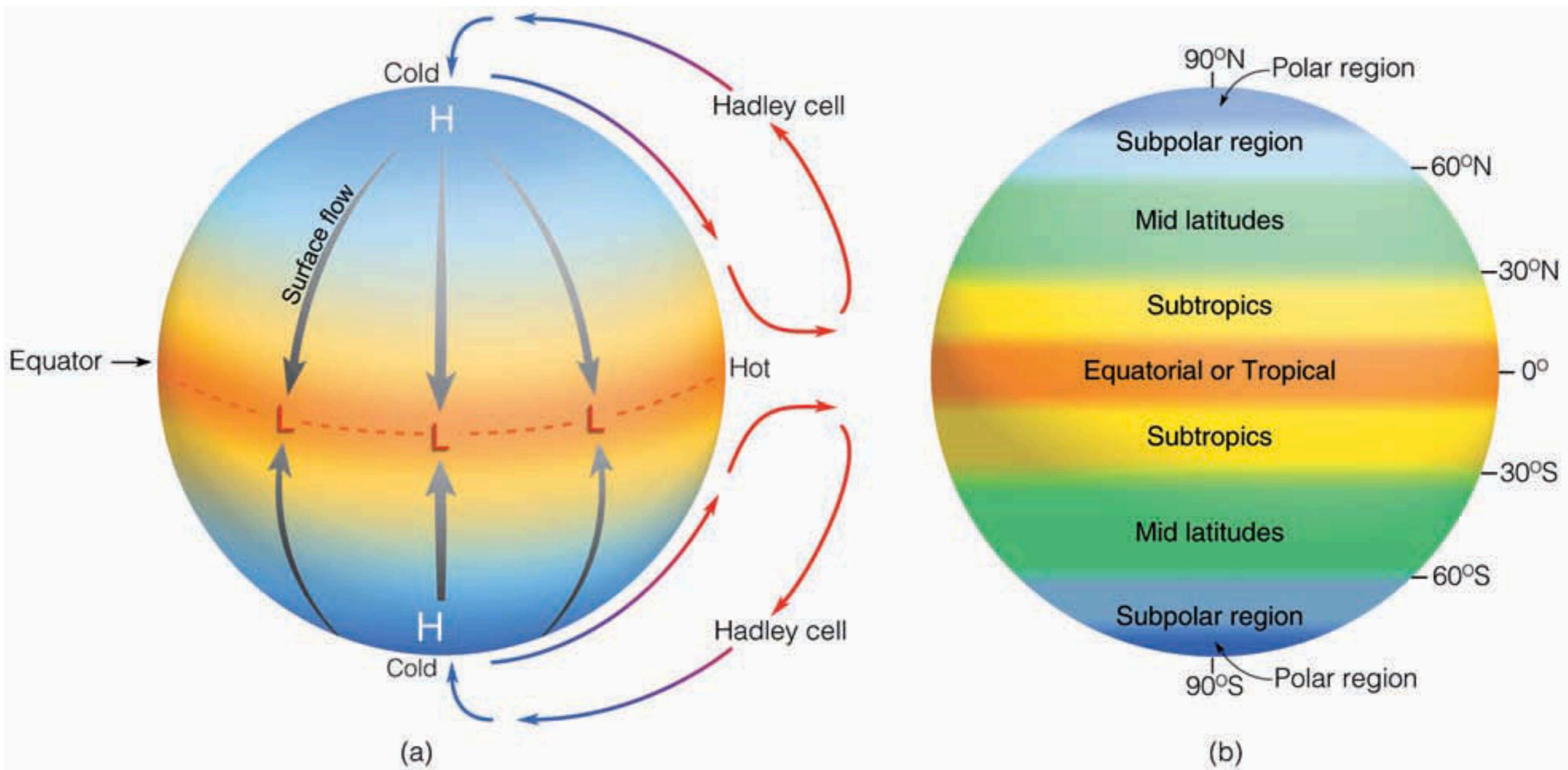
복사 불균형

- 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 대순환을 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 Hadley에 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