



**지구과학 올림피아드 사이버 강의**

# **해 양 학** **(OCEANOGRAPHY)**

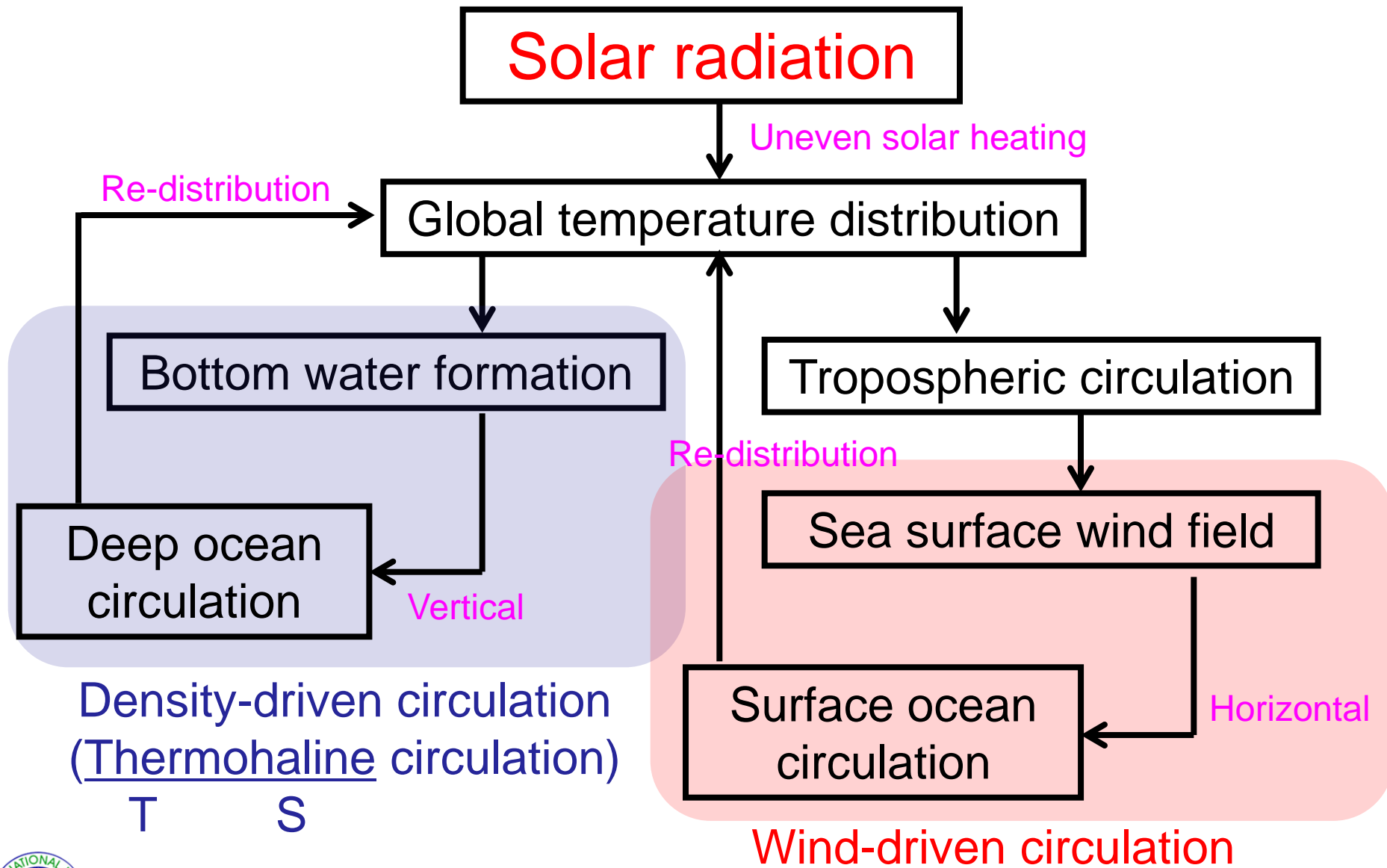
**공주대학교 사범대학 지구과학교육과**  
**장 유 순**

# 목 차 (CONTENTS)

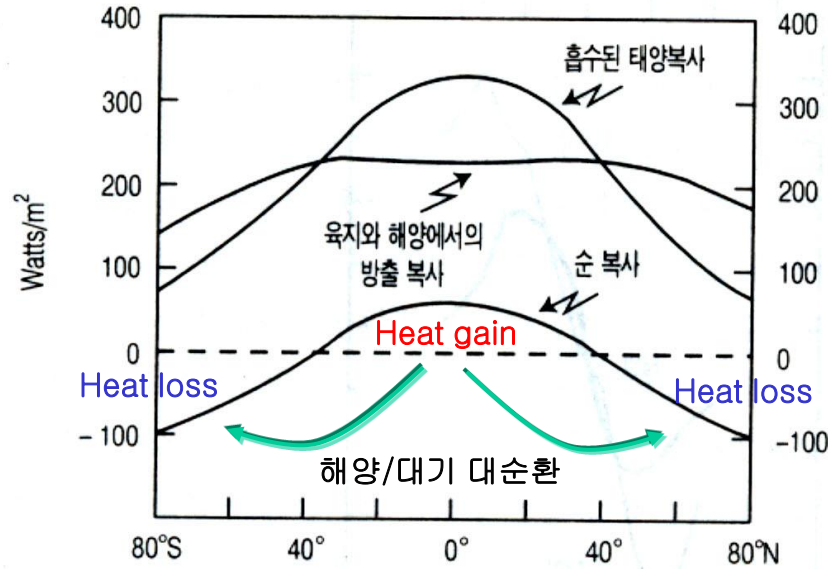
1. 해양학 및 해양의 구조 (해양의 기원, 해저 지형, 해양 관측)
2. 해수의 성질 (수온, 염분, 압력, 밀도, T-S diagram,  
용존 산소, 음파, 해색)
3. 해양 순환
4. 해양/대기 상호작용 (엘니뇨 /라니냐)
5. 파랑 및 조석
6. 주요 해역 (한반도 포함) 해황 분석

# 해양 순환

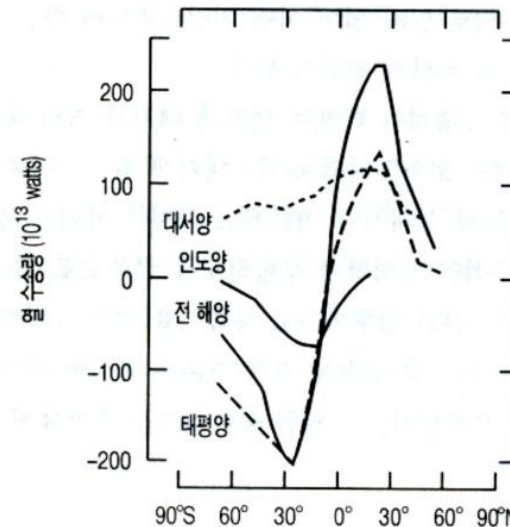
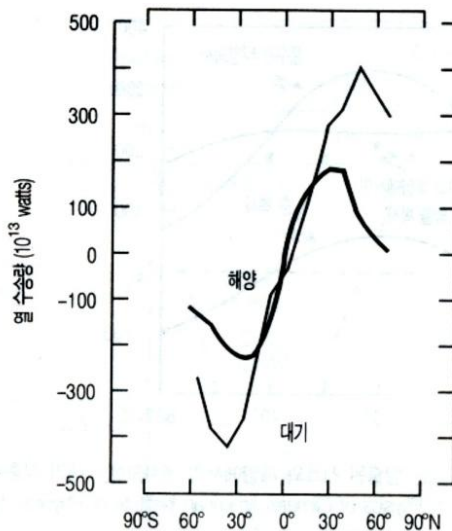
## ❖ Two circulation system



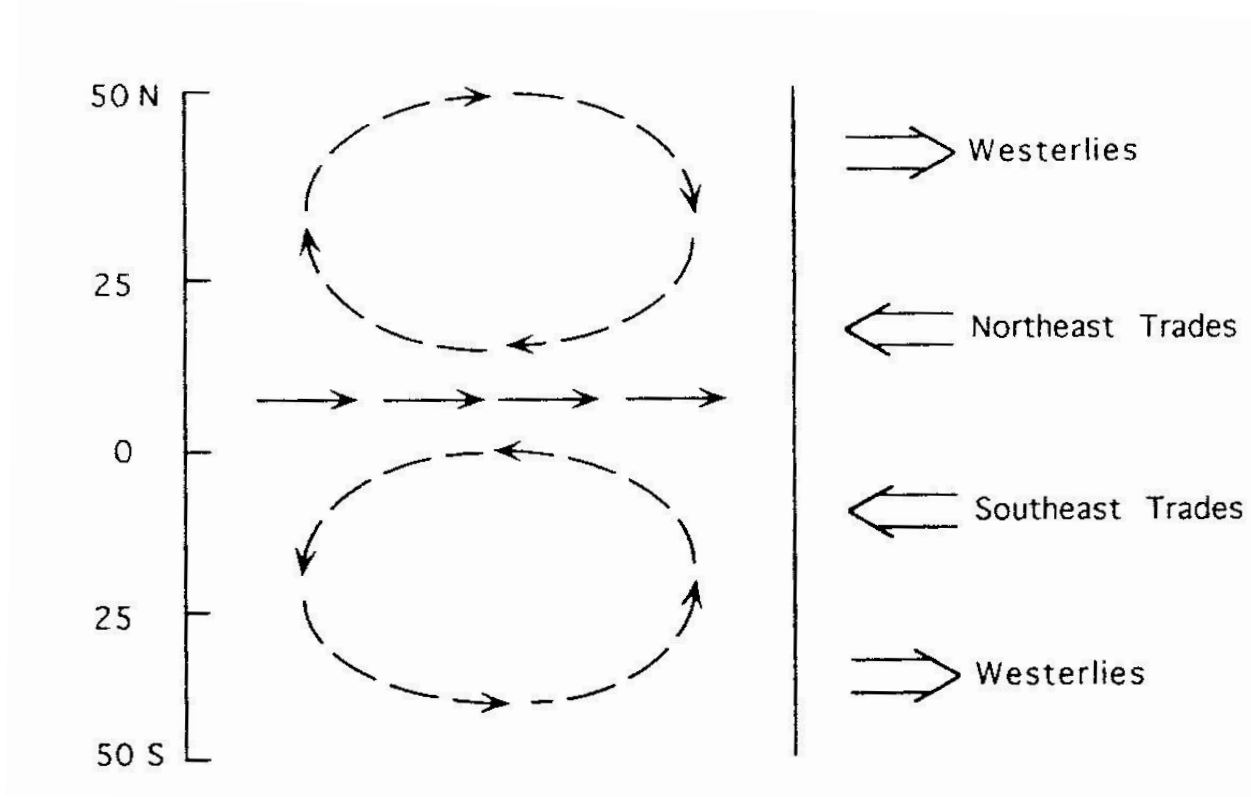
# ❖ 전지구적 열평형에 있어 대기/해양 대순환의 역할



자오면 단면도. (a)는 흡수된 태양복사, (b)는 방출된 지표와 해양에서의 복사, (c)는 대기 상층에서의 순 복사를 나타낸다 (After Piexoto and Oort, *Physics of Climate*, American Institute of Physics, 1992).



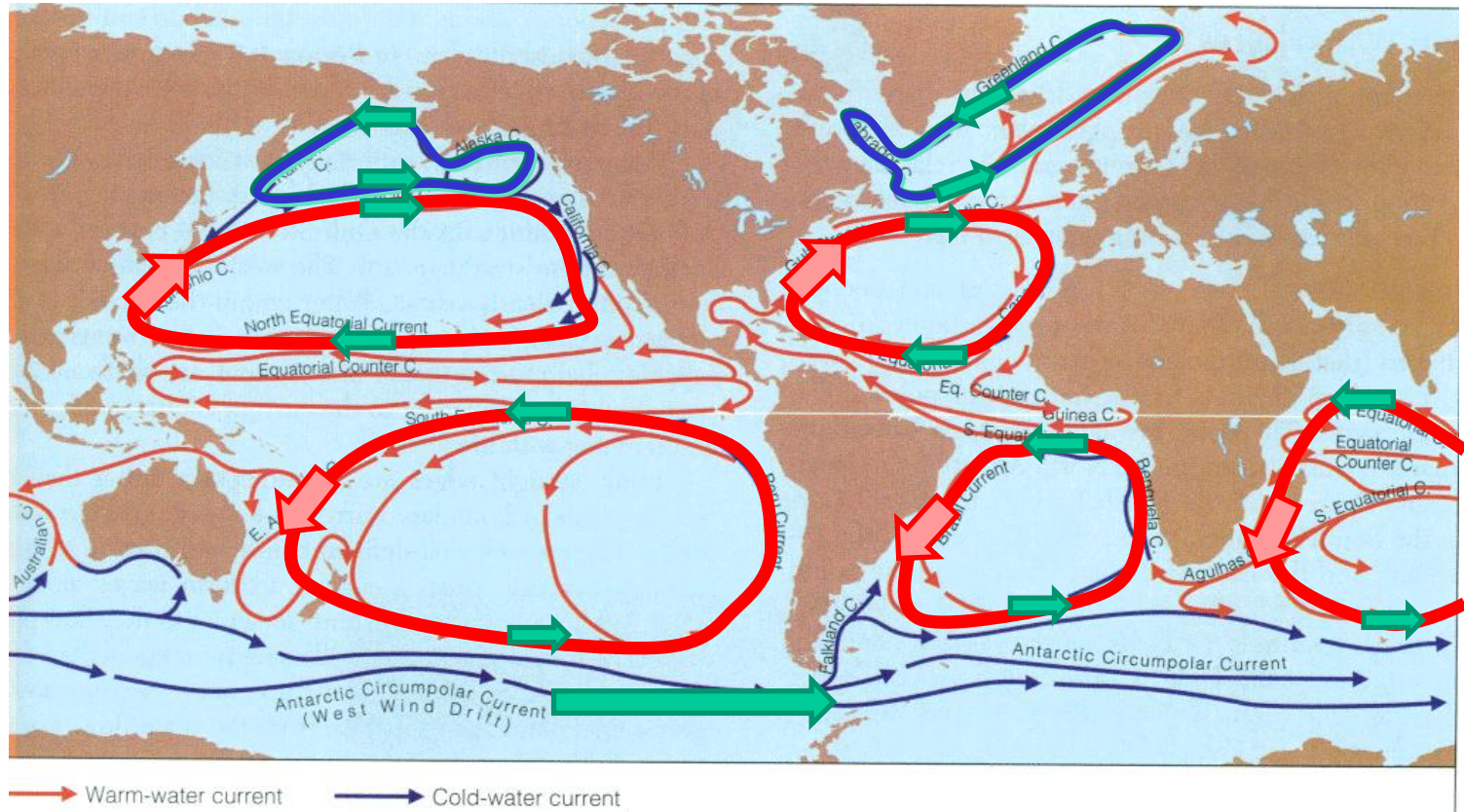
## ❖ 풍성 순환 (Direct product of the sea surface wind?)



- 무역풍과 편서풍은 북반구에서는 시계방향의 회전력, 남반구에서는 반시계 방향의 회전력에 적용되는데, 이것들은 해류의 회전을 발생시킨다. (아열대 순환)
- 실제 해양순환(풍성순환)은 위의 그림처럼 대칭적이고 단순하지 않다.
  - Intensification of the western boundary current (서안 경계류)
  - Mesoscale eddies (중규모 와동)



## ❖ 주요 해류 (Major surface current)



- 아열대 순환, 아한대 순환:

북태평양 (아열대, 아한대), 남태평양 (아열대), 북대서양 (아열대, 아한대), 남대서양 (아열대), 남인도양 (아열대)

- 환남극 해류: Antarctic Circumpolar Current (also called West Wind Drift)

- 서안 경계류: Kuroshio Current (북태평양), Gulf Stream (북대서양), Brazil Current (남대서양), Eastern Australian Current (남태평양), Agulhas Current (남인도양)

## FYI: Nansen, Ekman, and Stommel



**Fridtjof Nansen  
(1861-1930)**

- Observed iceberg's movement around the Arctic
- Reported Iceberg drift some angle ( $20^{\circ}$ ~ $40^{\circ}$ ) to the right of wind



**Van Walfrid Ekman  
(1874-1954)**

- Explained the cause of Nansen's observation.
- Developed a boundary-layer model considering Earth's rotation



**Henry Melson Stommel  
(1920-1992)**

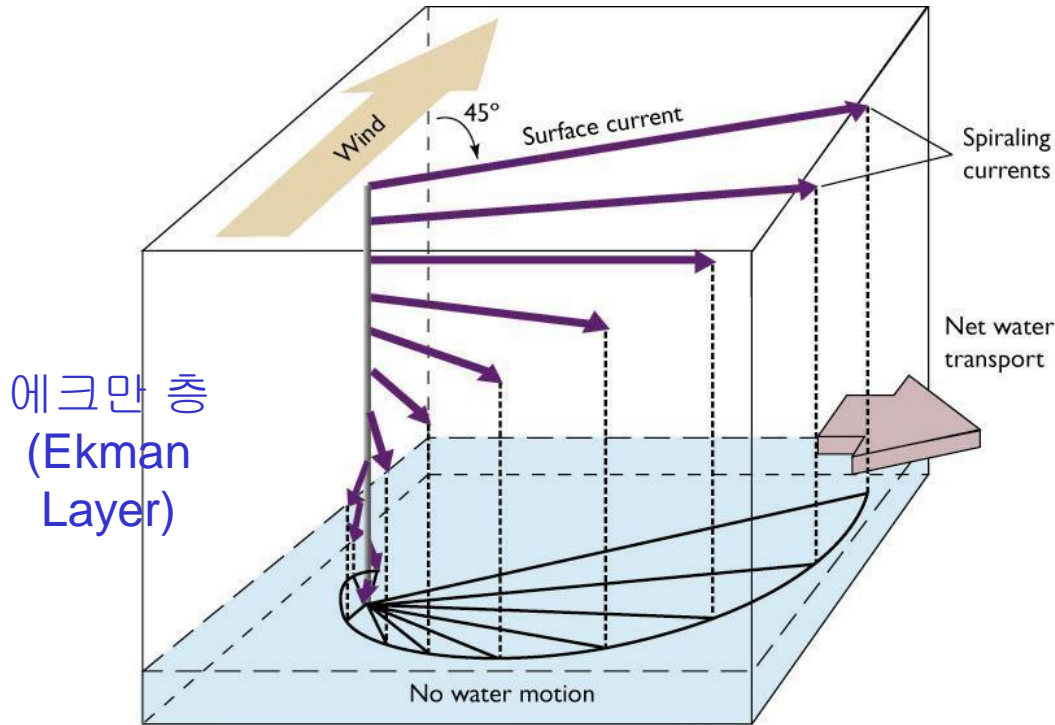
- Explained the cause of intensification of the western boundary current



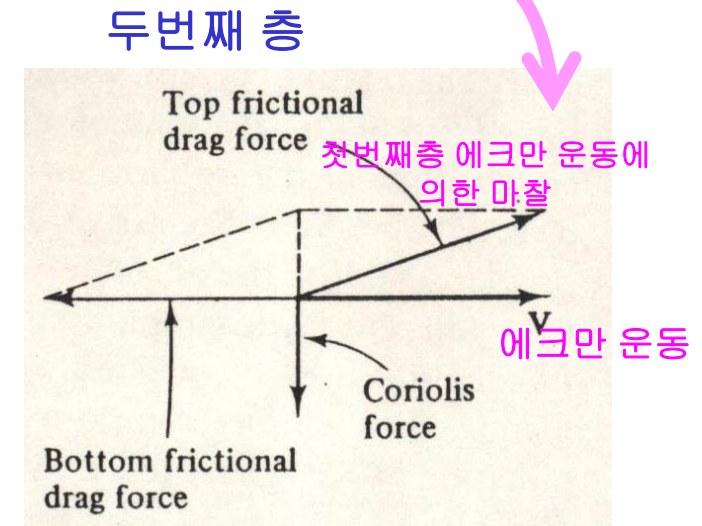
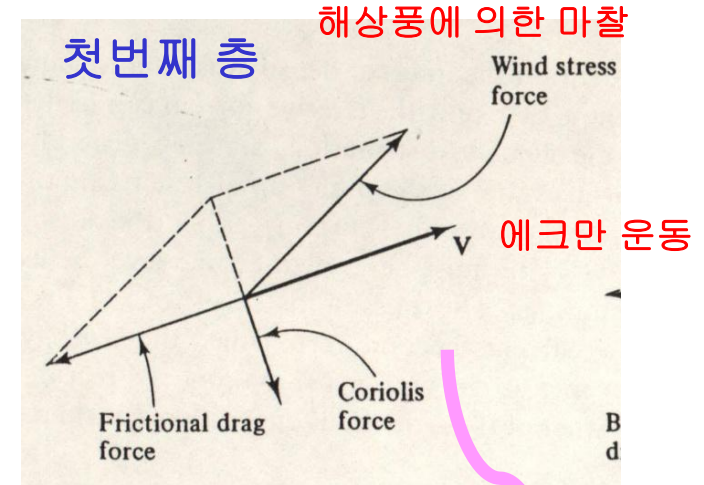
# ❖ 에크만 수송: Ekman Spiral

- 힘의 평형: 바람(Wind stress) = 전향력(Coriolis force)

## 에크만 나선 (Ekman Spiral)



↑  
에크만 깊이(Ekman depth): 해상풍 효과가 나타나지 않는 (표층과 유향 반대, 유속 4%) 깊이



## FYI: 에크만 수송의 일반해

- 힘의 평형: 바람(Wind stress) = 전향력(Coriolis force)

$$A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -fv \quad A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = fu$$

- 남풍( $\tau_y$ )이 지속적으로 불 때

$$u = V_0 e^{-\frac{\pi}{D_E} z} \cos(45^\circ - \frac{\pi}{D_E} z), \quad v = V_0 e^{-\frac{\pi}{D_E} z} \sin(45^\circ - \frac{\pi}{D_E} z)$$

$$V_0 = (\sqrt{2\pi\tau_y}) / (D_E \rho f) \quad D_E = \pi \sqrt{2A_z / f}$$

$A_z$ : 연직 와동 점성 계수,  $f$ : 코리올리 계수 ( $2\Omega \sin\theta$ )

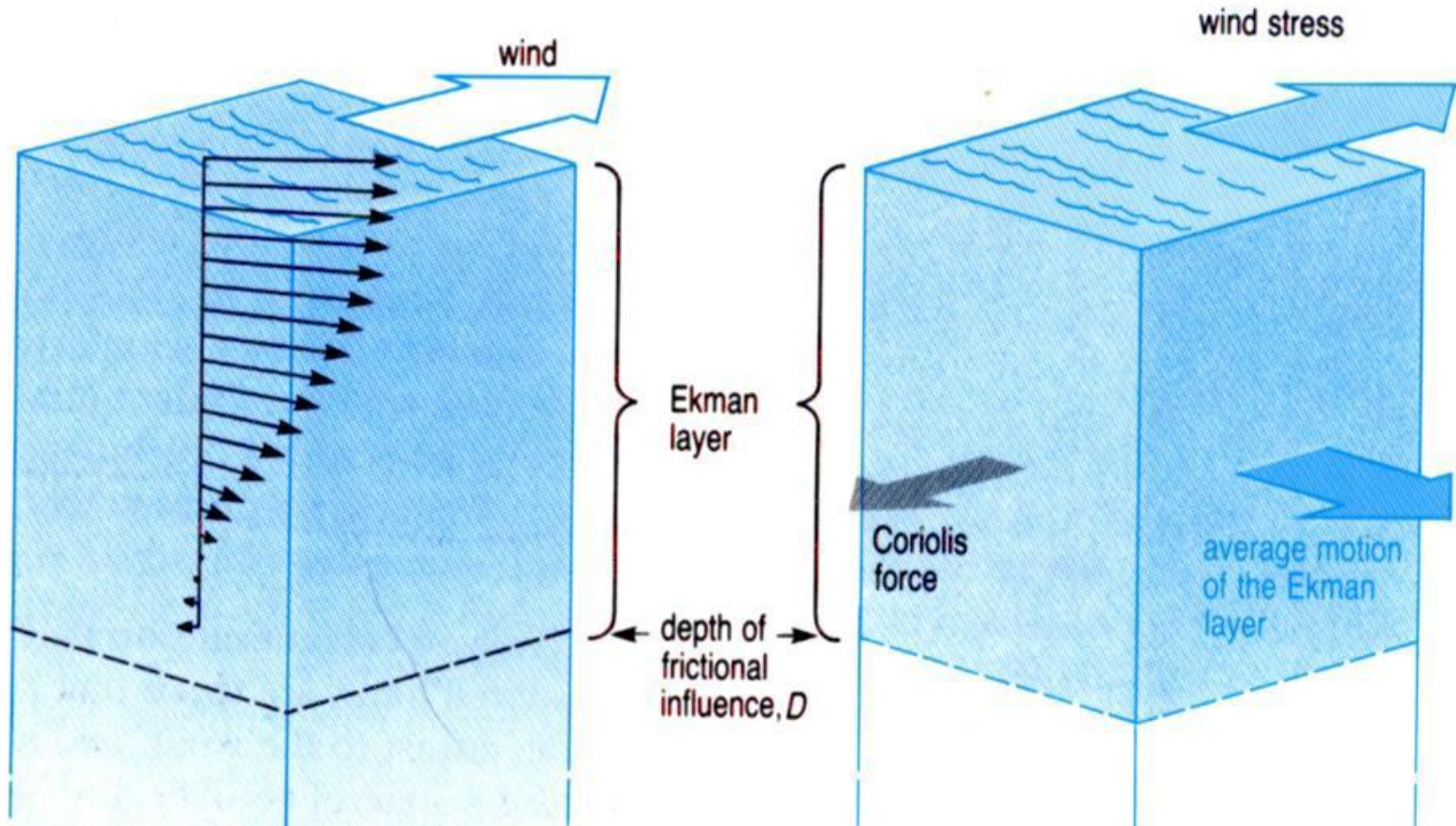
$$Z=0 \text{ (Surface)} : \quad u = V_0 \cos(45^\circ), \quad v = V_0 \sin(45^\circ)$$

$$Z=D_E \text{ (Ekman depth)} : \quad u = V_0 e^{-\pi} \cos(45^\circ - \pi), \quad v = V_0 e^{-\pi} \sin(45^\circ - \pi)$$

0.04

## ❖ 에크만 수송: Total Ekman Transport

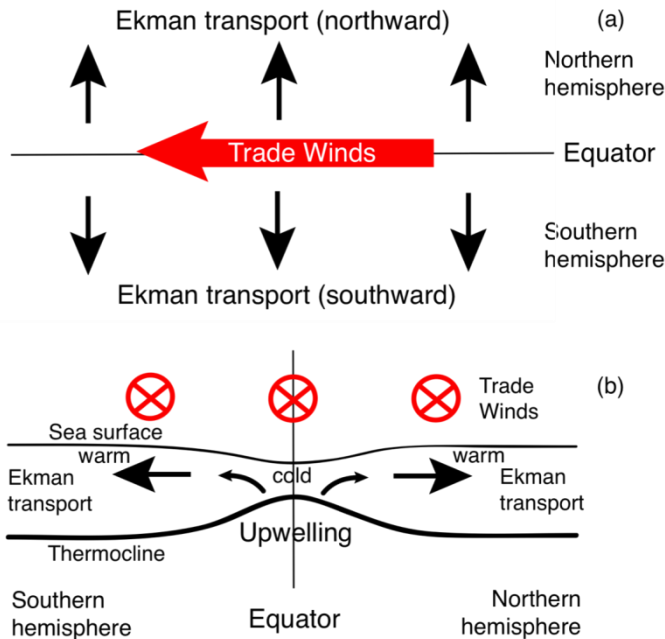
- 전체 에크만 수송(표층부터 에크만 깊이 까지 적분)은 북반구(남반구)에서 바람 방향의 오른쪽(왼쪽) 90도 이다.



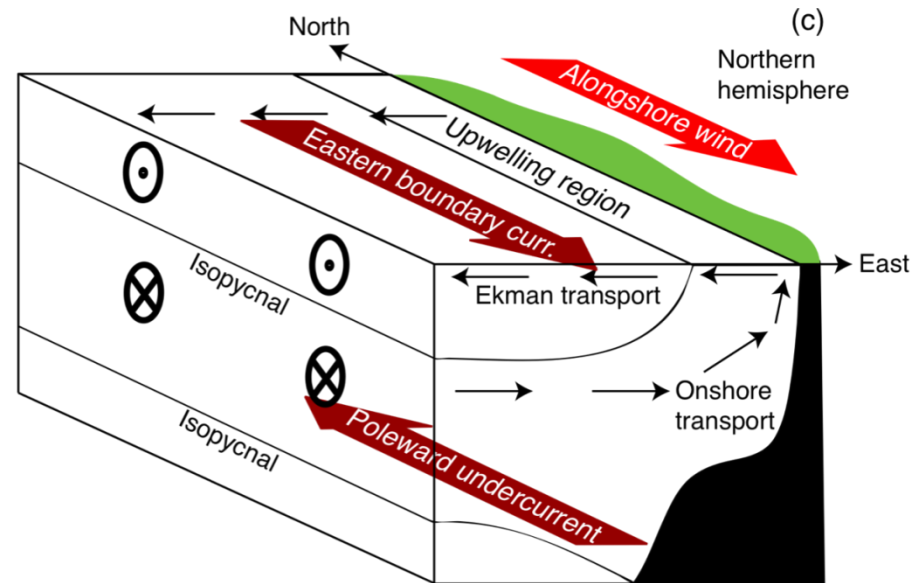
## ❖ 에크만 펌핑: 적도용승, 연안용승/침강

- 용승(upwelling): 심해의 물이 표층으로 솟아오르는 과정. 용승이 일어나는 해역은 심해의 영양 염류를 운반하기 때문에 가장 생물이 풍부하게 서식하는 지역에 속한다. 용승은 표층해수의 발산이 일어나는 곳에서 발생한다.

### 적도용승



### 연안용승

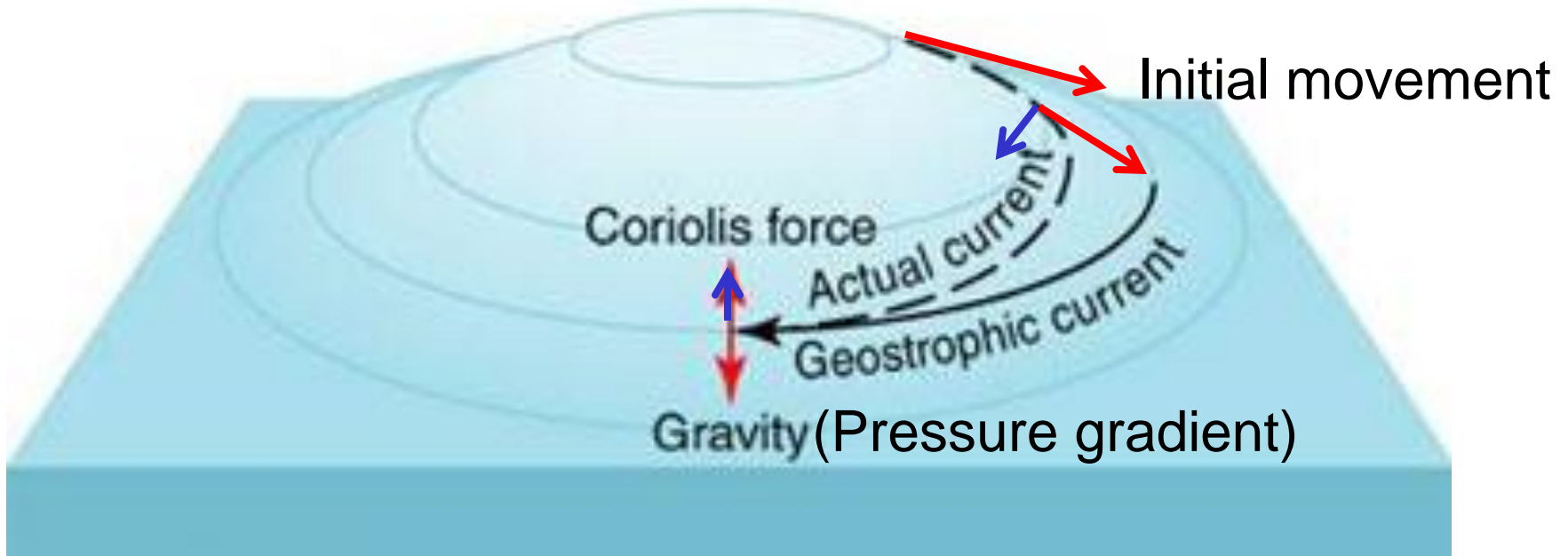


- 질문 1: 에크만 깊이는 평균 100 m 내외 이다. 하지만 주요 해류는 더 깊은 수심까지 확장된다.
- 질문 2: 에크만 수송에 의해 표층 해류는 북반구에서 바람 방향의 오른쪽으로 흐른다. 그러나 대부분의 해류는 바람 방향과 같은 방향으로 흐른다.



## ❖ 지형류 평형

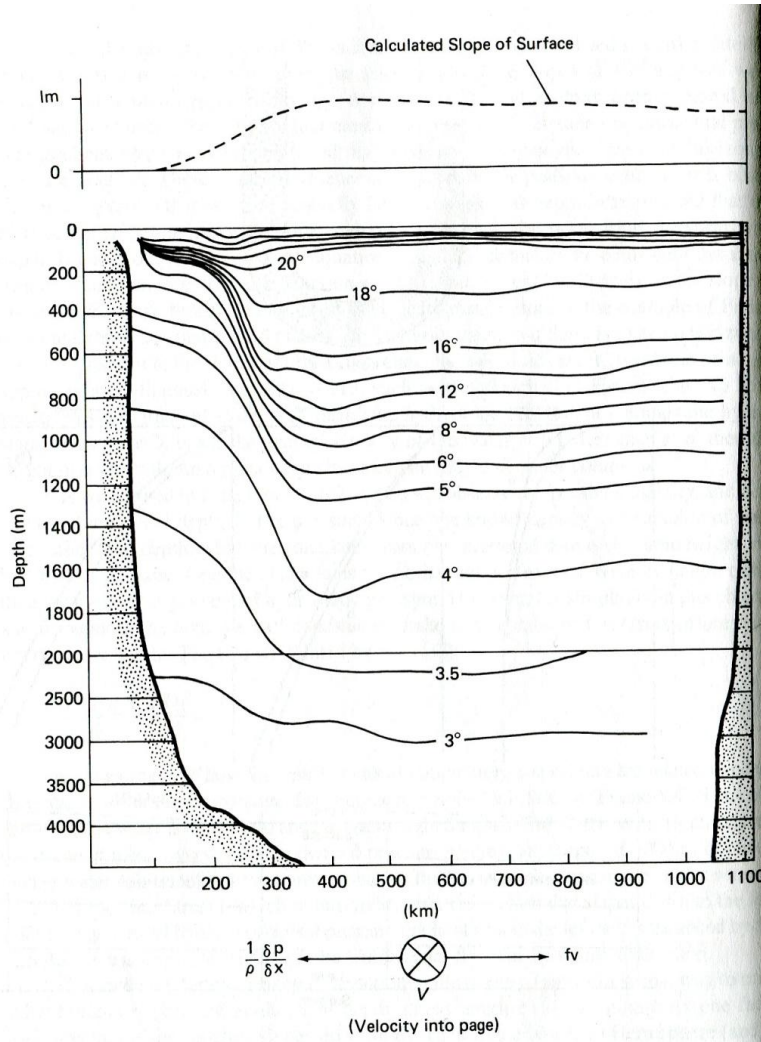
- 힘의 평형: 수평압력경도력(Pressure Gradient) = 전향력(Coriolis force)



1. 초기운동: 수압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 해류가 흐른다.
2. 북반구에서는 해류의 흐름에 오른쪽으로 전향력이 작용한다.
3. 전향력과 수압경도력이 평형이 될 때까지 해수는 방향을 바꾼다.
4. 등압력면을 따라 해수가 흐른다. (지형류 평형)

## ❖ 지형류 평형: 일반해

- 힘의 평형: 수평압력경도력(Pressure Gradient) = 전향력(Coriolis force)

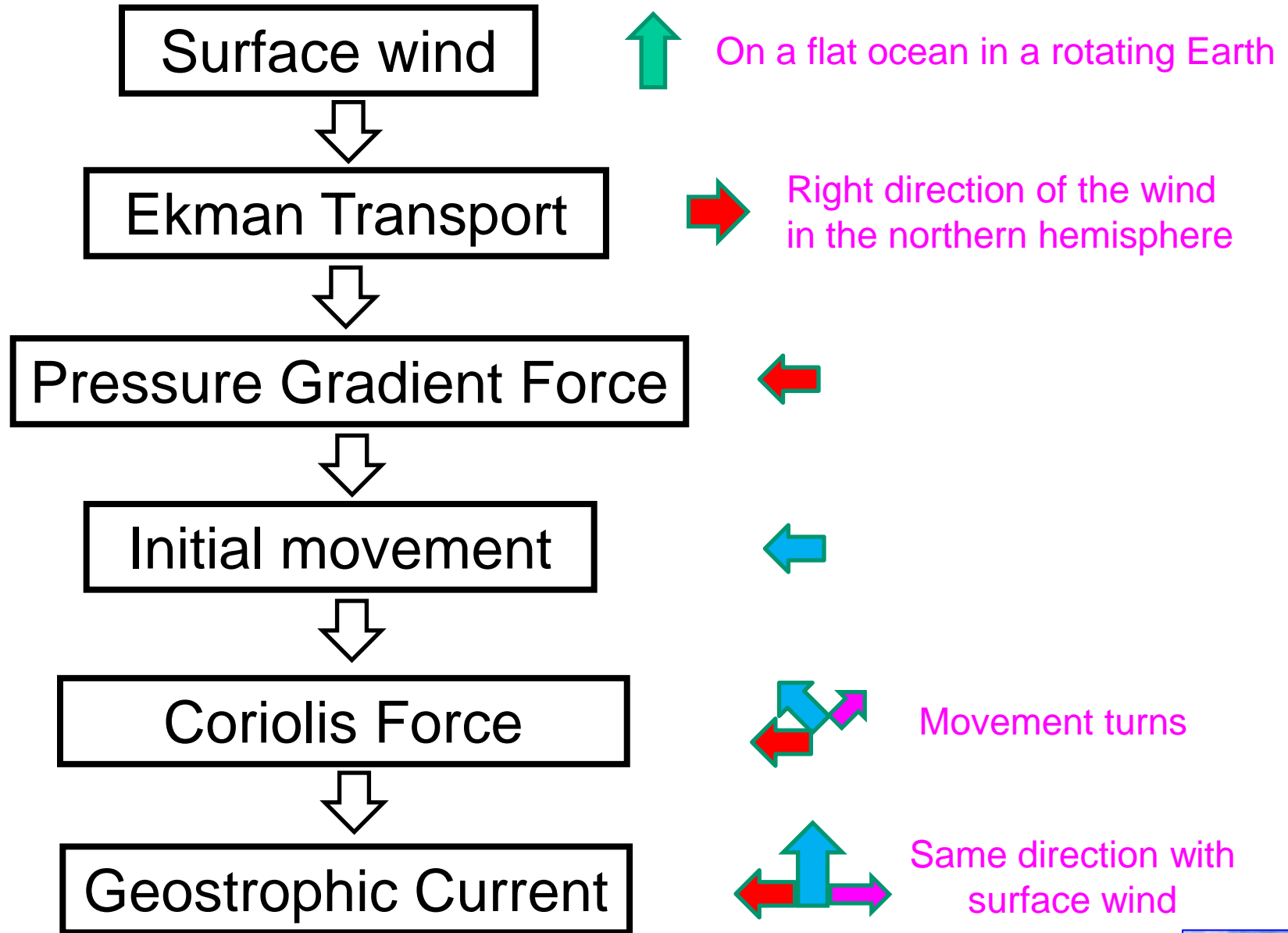


$$f_v = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\rho g h)}{\partial x} = g \frac{\partial h}{\partial x}$$

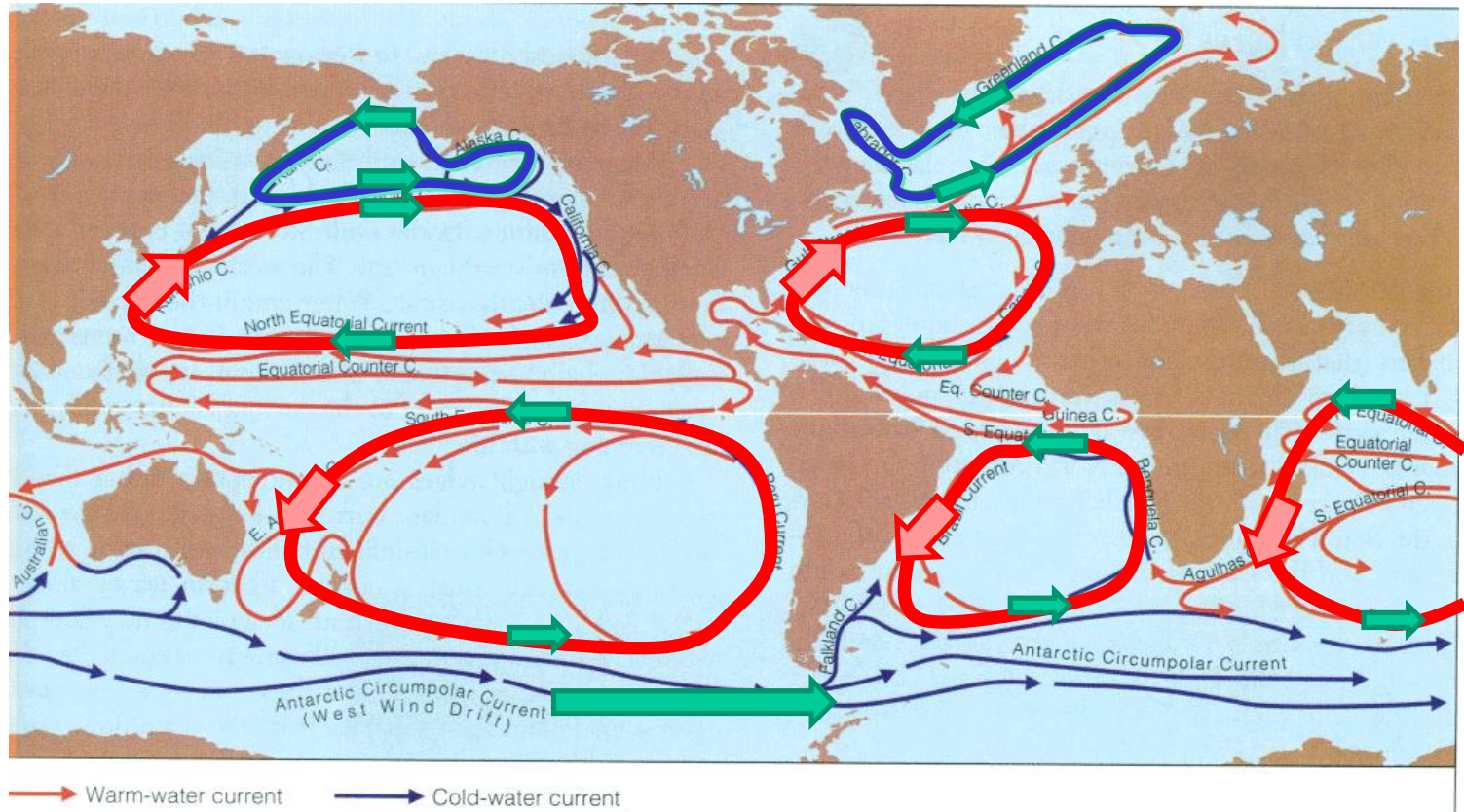
- 지형류의 유속: 해수면 경사에 비례



## ❖ Wind-driven circulation



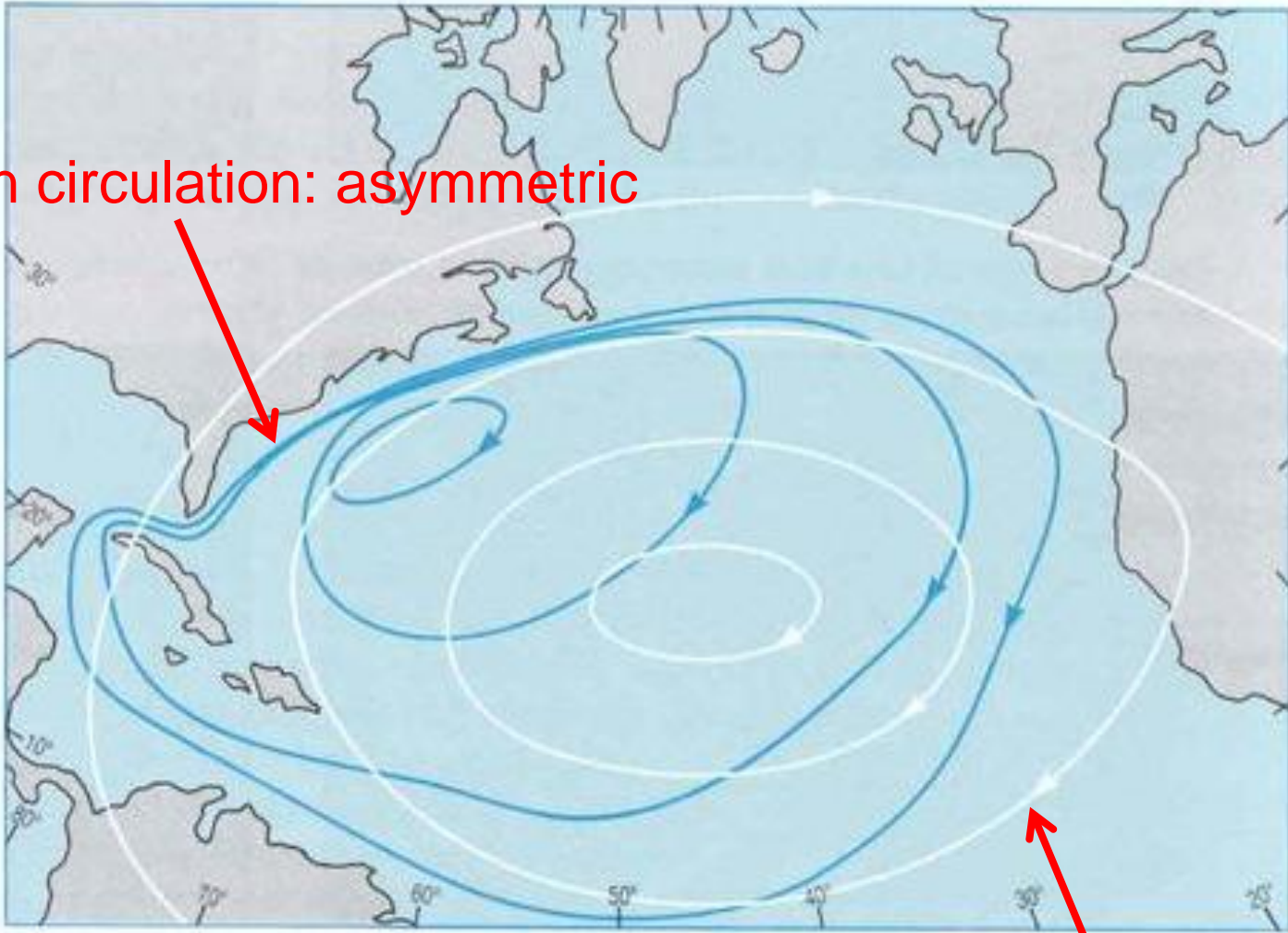
## ❖ 주요 해류 (Major surface current)



- 실제 해양순환(풍성순환)은 위의 그림처럼 대칭적이고 단순하지 않다.
  - Intensification of the western boundary current (서안 경계류)
  - Mesoscale eddies (중규모 와동)

## ❖ 서안강화 현상 (Intensification of the western boundary current)

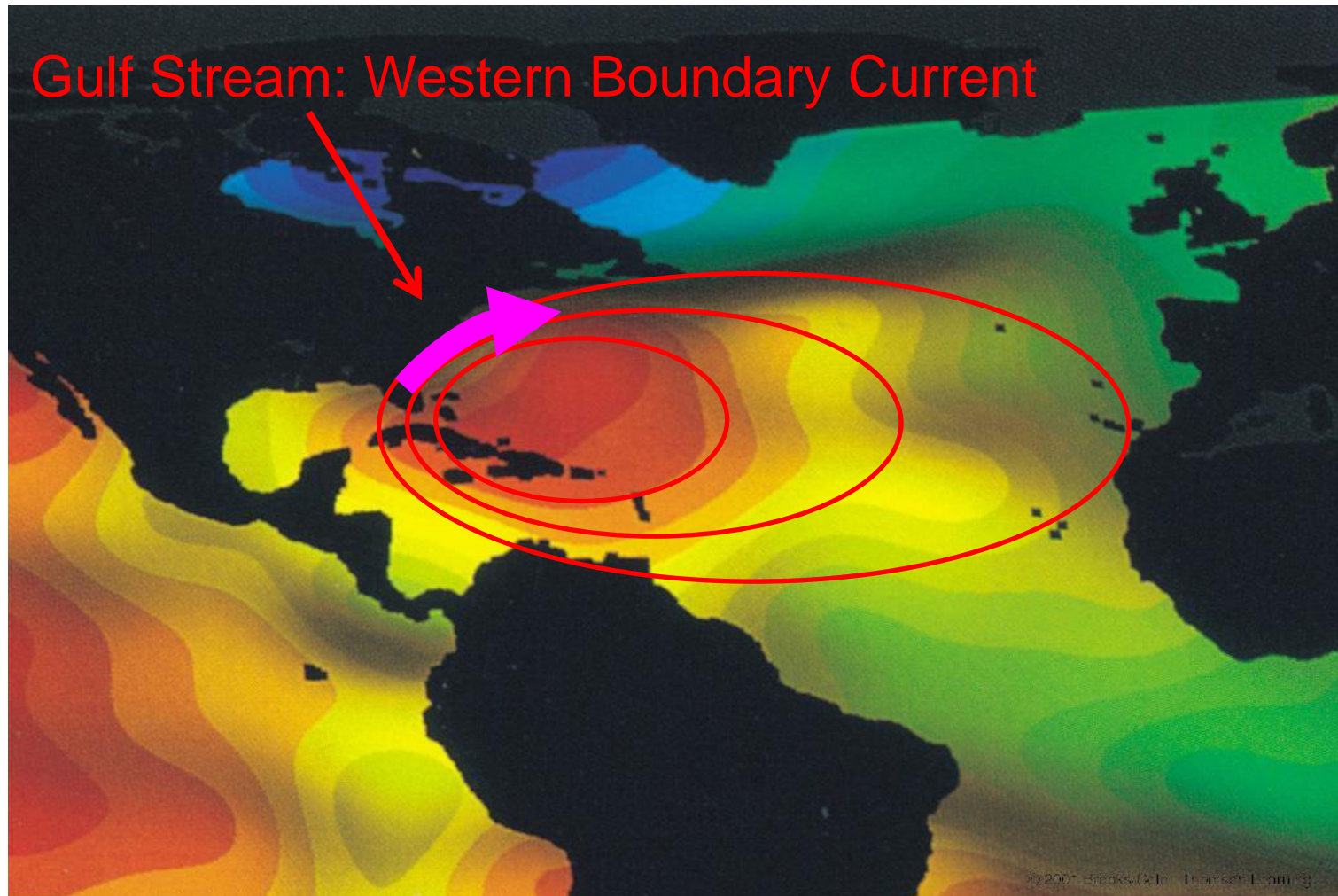
Ocean circulation: asymmetric



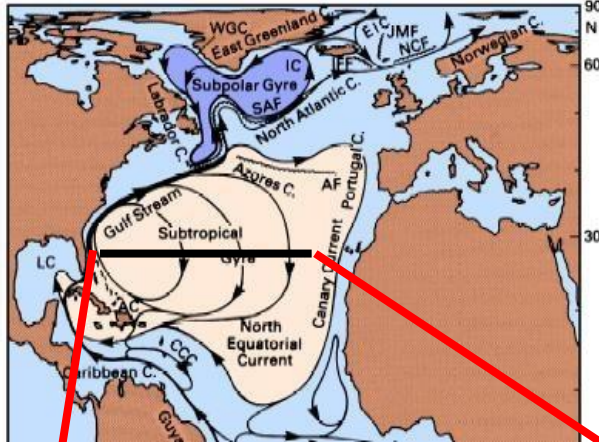
Winds: symmetric



## ❖ 서안강화 현상 (Intensification of the western boundary current)



## ❖ 서안 경계류와 동안 경계류의 주요 특성 비교



### [Atlantic]

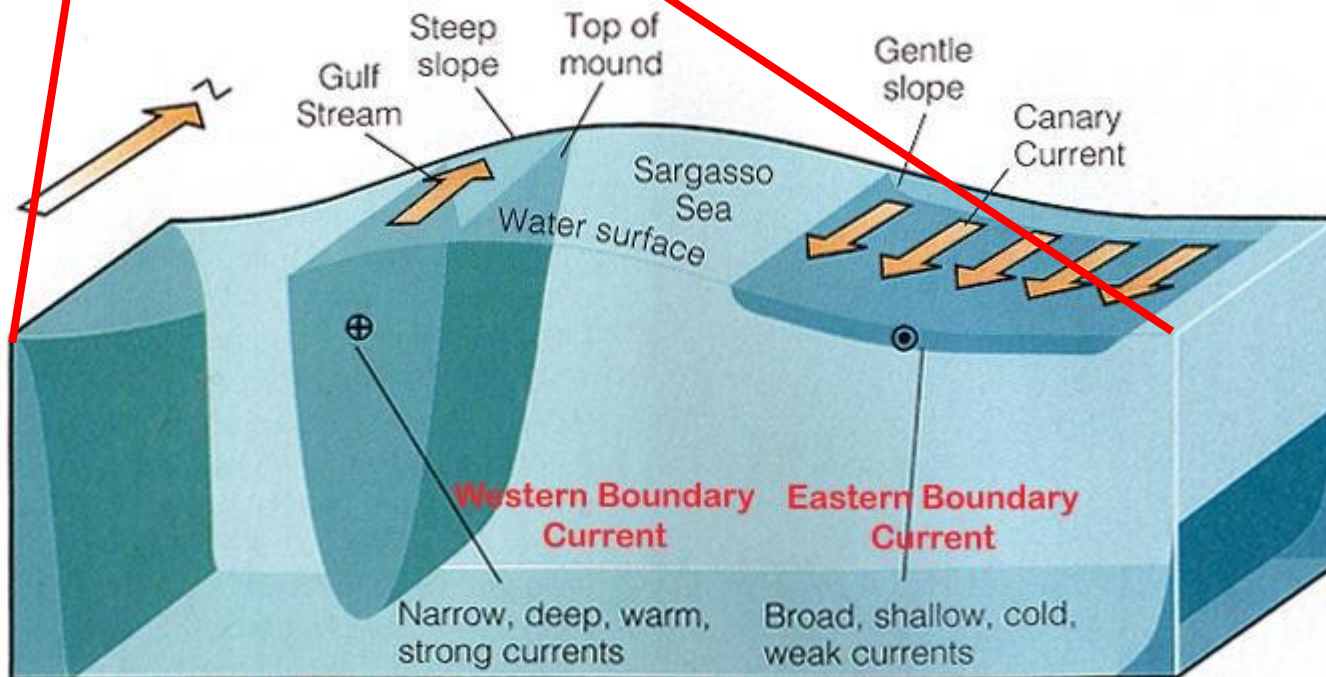
**Gulf Stream** vs **Canary Current**

**Brazil Current** vs **Benguela Current**

### [Pacific]

**Kuroshio** vs **California Current**

**East Australian Current** vs **Peru Current**

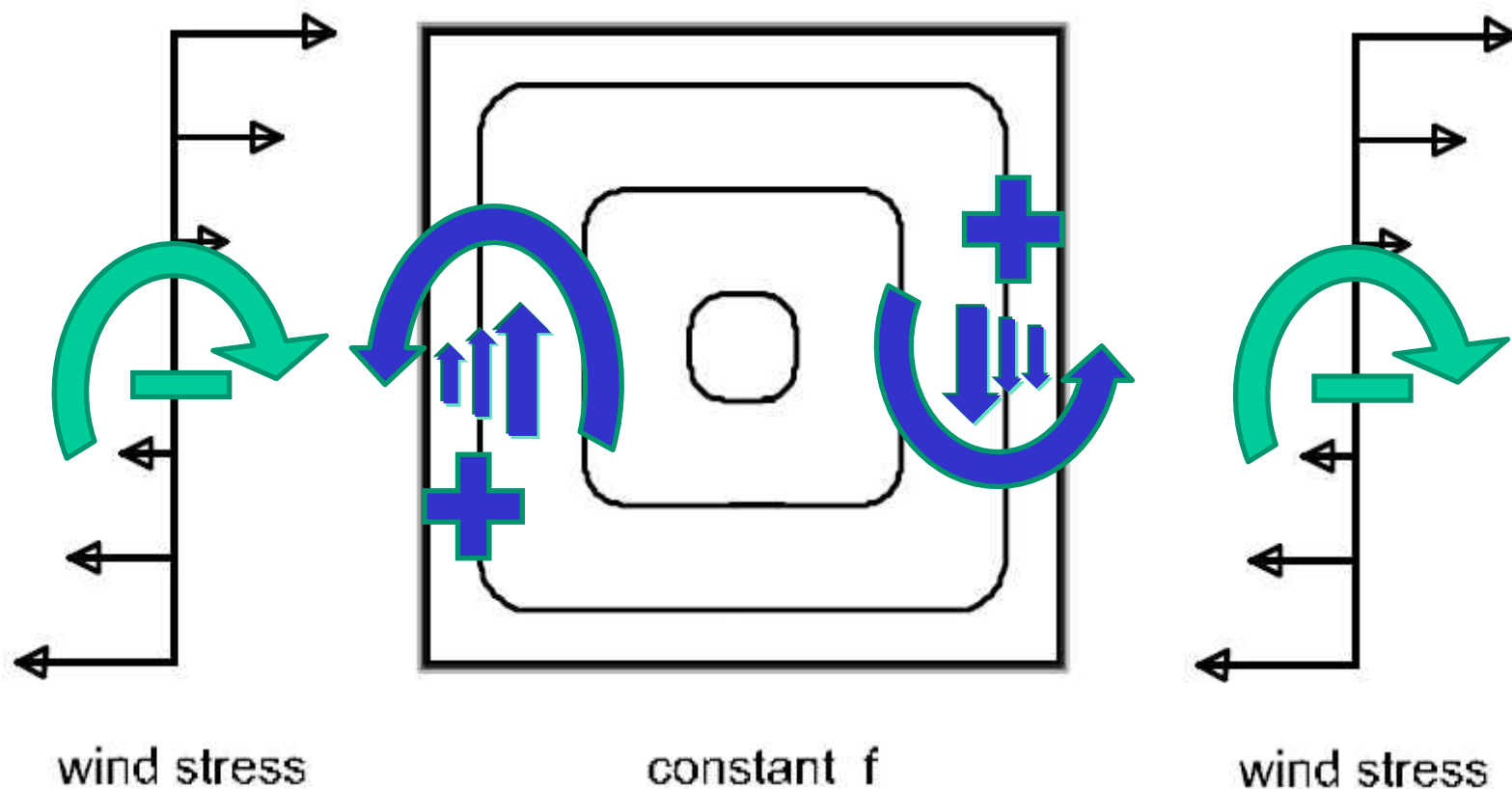


## ❖ 서안경계류 이해

- 와도 (Vorticity): 축에 대한 입자의 회전 정도 (반시계방향:양, 시계방향:음)
- 와도 방정식 (Vorticity Equation): 베타 효과(위도에 따른 전향력 변화), 바람 응력, 마찰력

Assuming no beta effect

$$v \frac{\partial f}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x} \right) = J \left( \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$



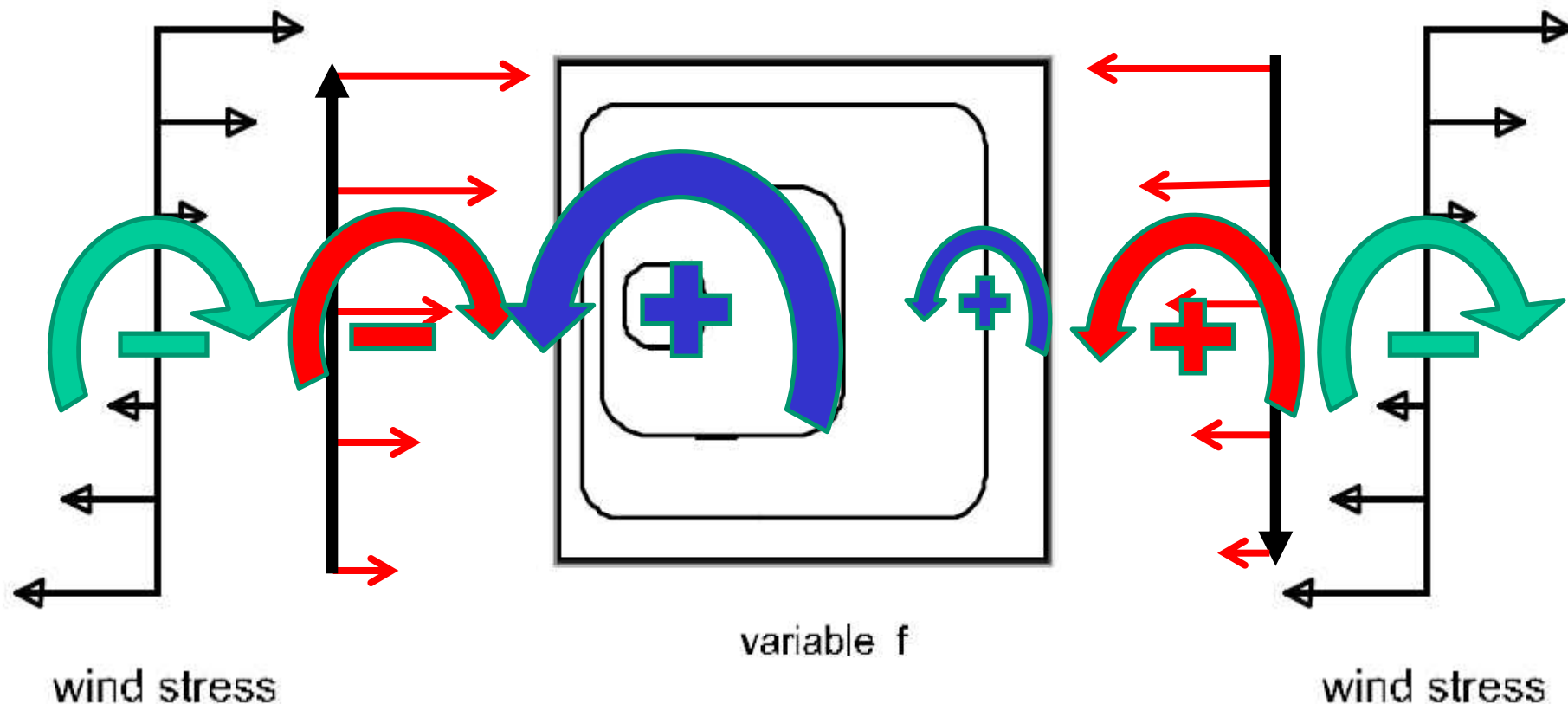
**Wind stress = Friction (Ocean current)**



## ❖ 서안경계류 이해

Assuming beta effect




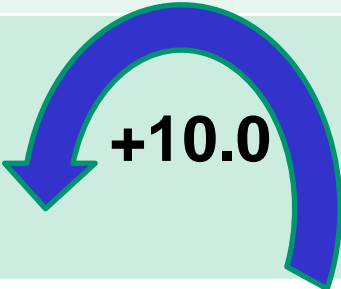

$$v \frac{\partial f}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x} \right) = J \left( \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$



Western Ocean: Wind Stress + Planetary Vorticity = **Friction**

Eastern Ocean: Wind Stress = Planetary Vorticity + Friction

## ❖ 서안경계류 이해

	서쪽 해안	동쪽 해안
바람	 -1.0	 -1.0
행성 와도 $v \frac{\partial f}{\partial y}$	 -9.0	 +0.1
측면 마찰	 +10.0	 +0.9

Key points: Wind pattern, Land boundary, Earth's rotation effect with latitude

## ❖ 중규모 와동 (소용돌이) (Meso-scale Eddies)



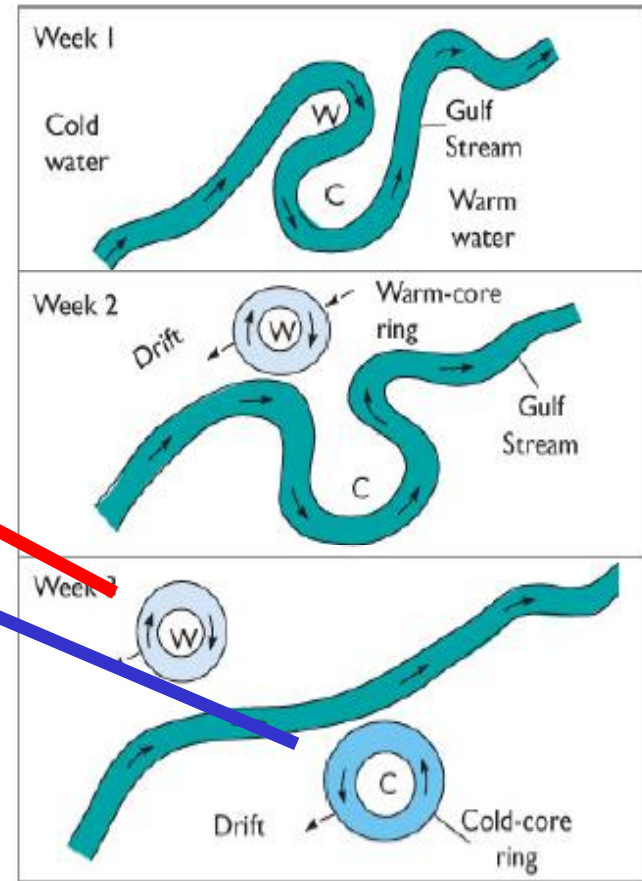
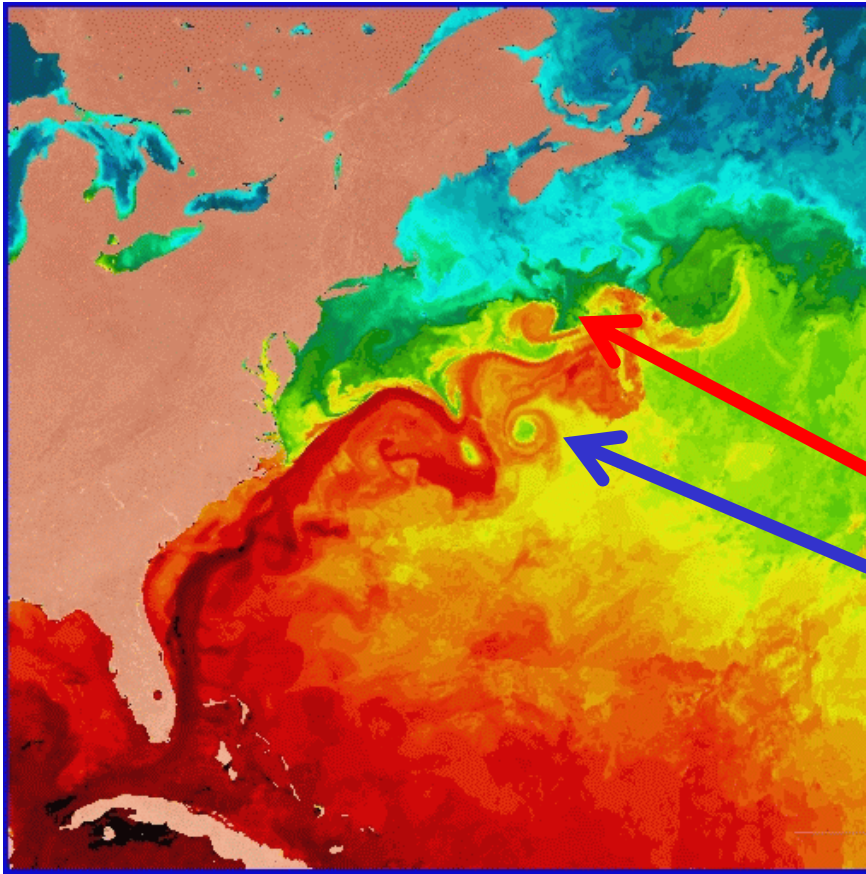
- 크기: 약 10 ~ 100 km (1,000 ~ 10,000 km 스케일의 주요 해류에서 분화)
- 수명: 수주 ~ 년, 회전속도: ~10 cm/s 또는 이상
- 중요성: 해양의 열, 염, 영양염의 혼합 및 전달



## ❖ 중규모 와동 (소용돌이) (Meso-scale Eddies)

Anticyclonic warm eddy  
(Warm core ring)

Cyclonic cold eddy  
(Cold core ring)



- 시계방향, 고기압성, 표층 수렴, 온난 (주요 해류 북쪽 위치)
- 반시계방향, 저기압성, 표층 발산, 한랭 (주요 해류 남쪽 위치)

## ❖ 해양 대순환 (표층(풍성) 순환 요약)

1. Ocean circulation plays a role for the redistribution of global heat. (Control the global climate change)
2. Subtropical gyre can be explained by the Ekman transport and geostrophic balance. (Wind-driven circulation)
3. Western intensification can be explained by the vorticity balance. (Beta effect)
4. There are many meso-scale eddies along the western boundary currents. (Energetic Ocean)