

파 랑

서울대학교 지구환경과학부

조 양 기

풍 파 1. 파의 특성

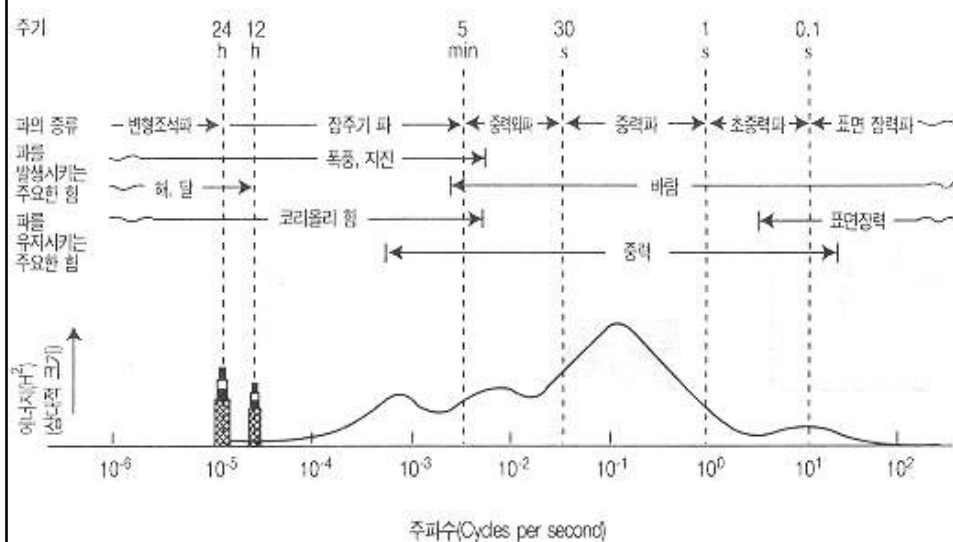
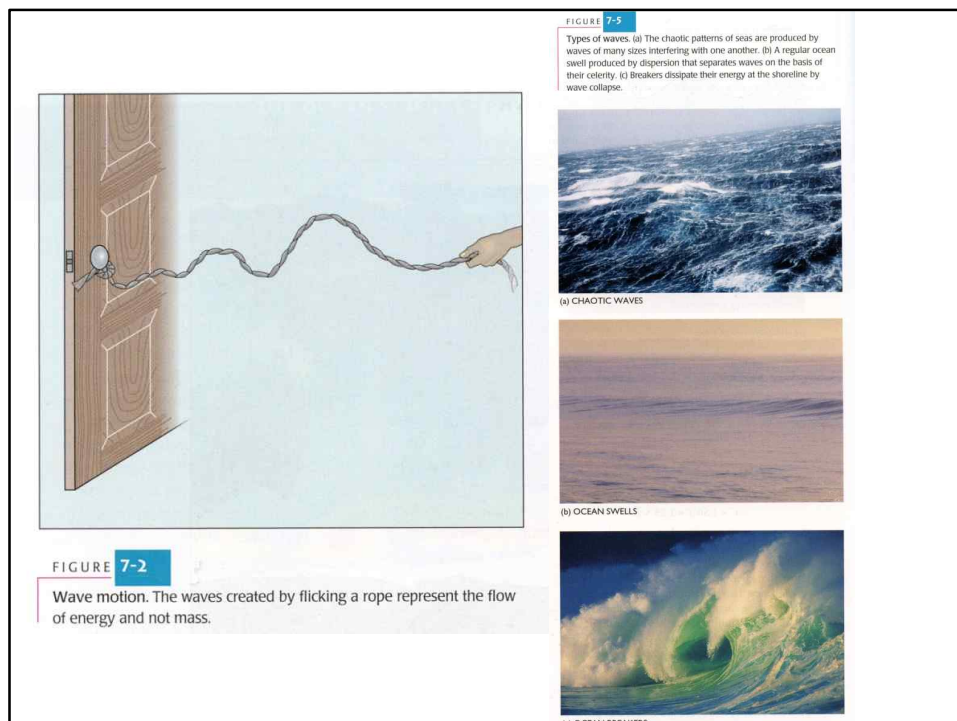
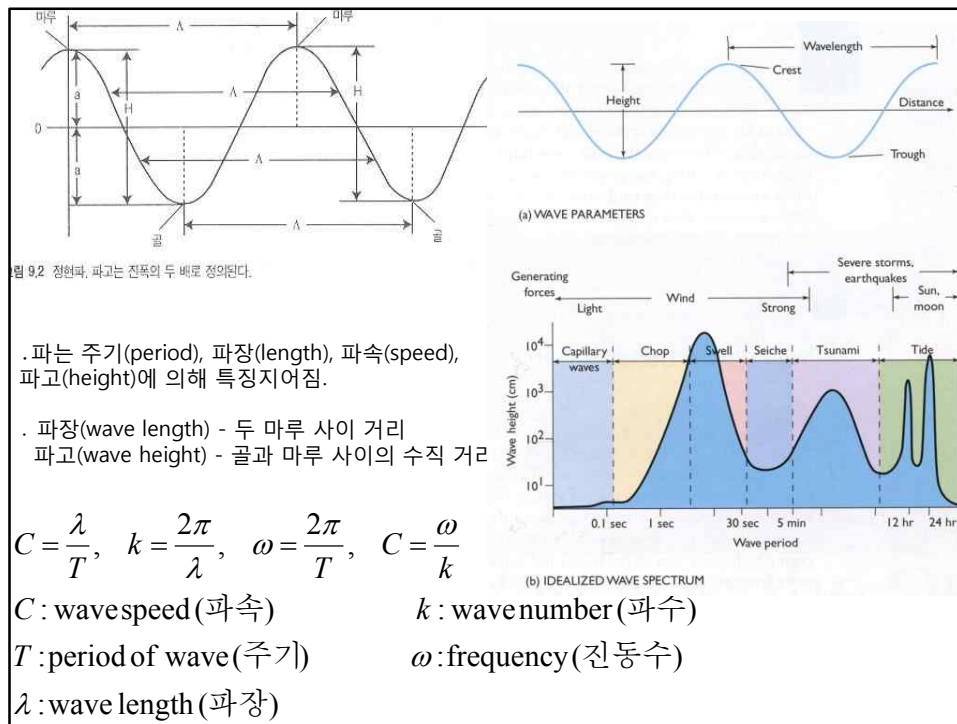
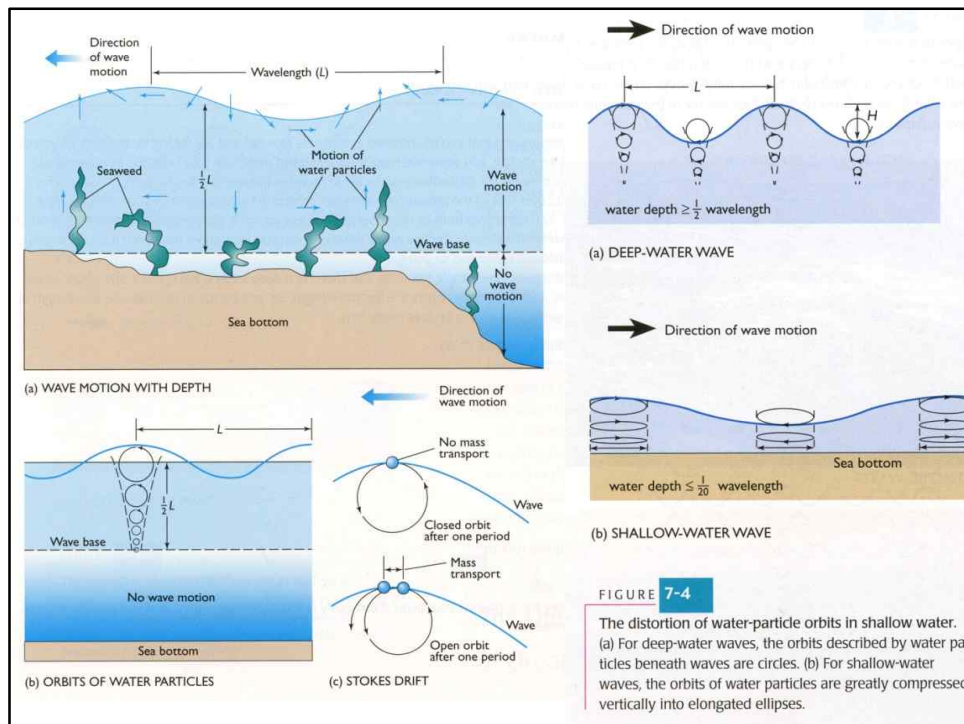


그림 9.1 표면파의 에너지 분포. 12시간과 24시간의 조석은 뾰족하게 나타난다. 에너지의 극대점은 바람에 의해 발생되는 4초에서 12초 주기인 중력파 영역에 분포한다 (After Kinsman, Wind Waves, Prentice Hall, 1965)





. 가정: 파장이 파고보다 훨씬 길다
이 파형에 대한 파속의 식은

$$C^2 = \frac{g}{k} \tanh kh$$

천해파(shallow water wave):

$$C_s = \sqrt{gh} \quad (kh < 0.33 \text{ 일 때})$$

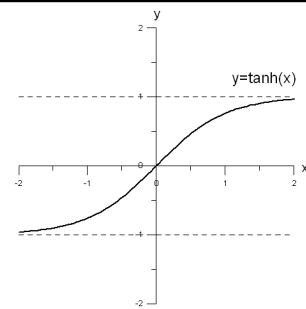
- . 파장이 적어도 수심의 20배
- . 파속은 수심에만 관계 (the deeper the water, the faster the wave.)

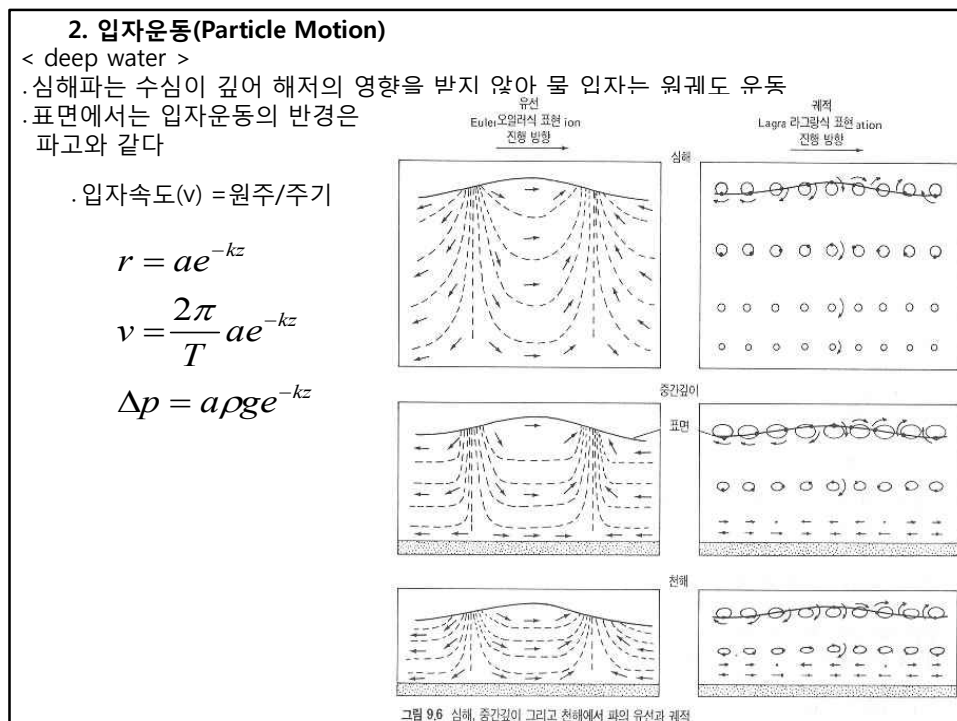
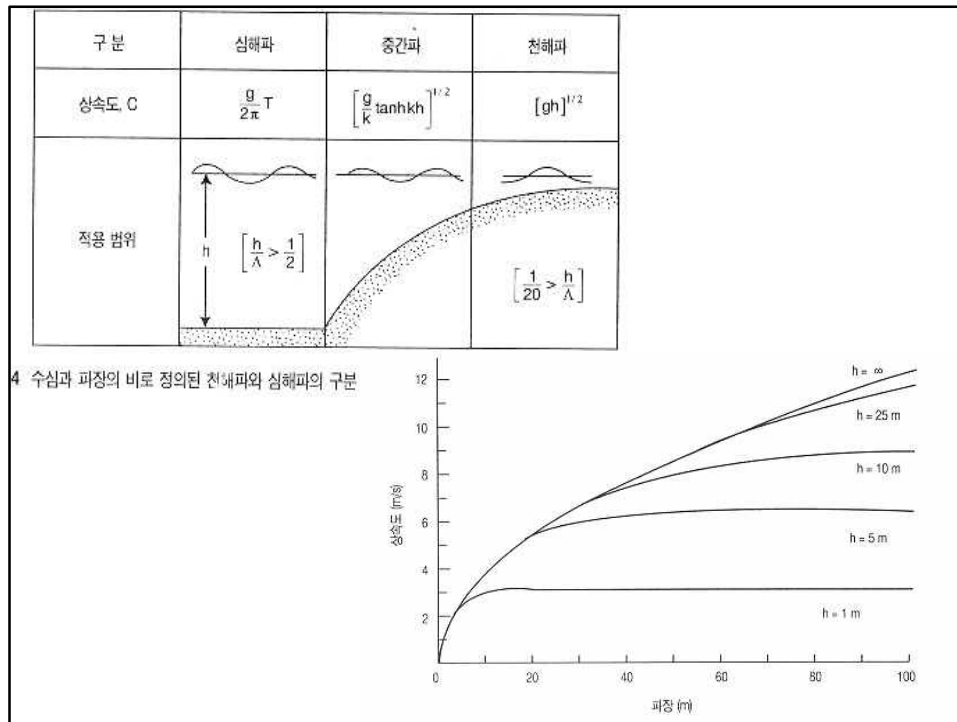
심해파(deep water wave): $C_d = \sqrt{\frac{g}{k}} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \quad (kh > 1.5 \text{ 일 때})$

- . 파장이 수심의 4배 미만
- . 파속은 파장과 주기만 관계
- 심해파가 점차 해안에 가까이 가면 결국 천해파로 변하는데 그때 파속, 파고, 파장은 변하지만 **주기**만은 변하지 않음.

$$C_d = \frac{g}{2\pi} T \cong 1.5 T \text{ m/s}$$

$$L = \frac{g}{2\pi} T^2 \cong 1.5 T^2 \text{ m}$$





3. 파의 에너지와 분산(Energy and Wave Dispersion)

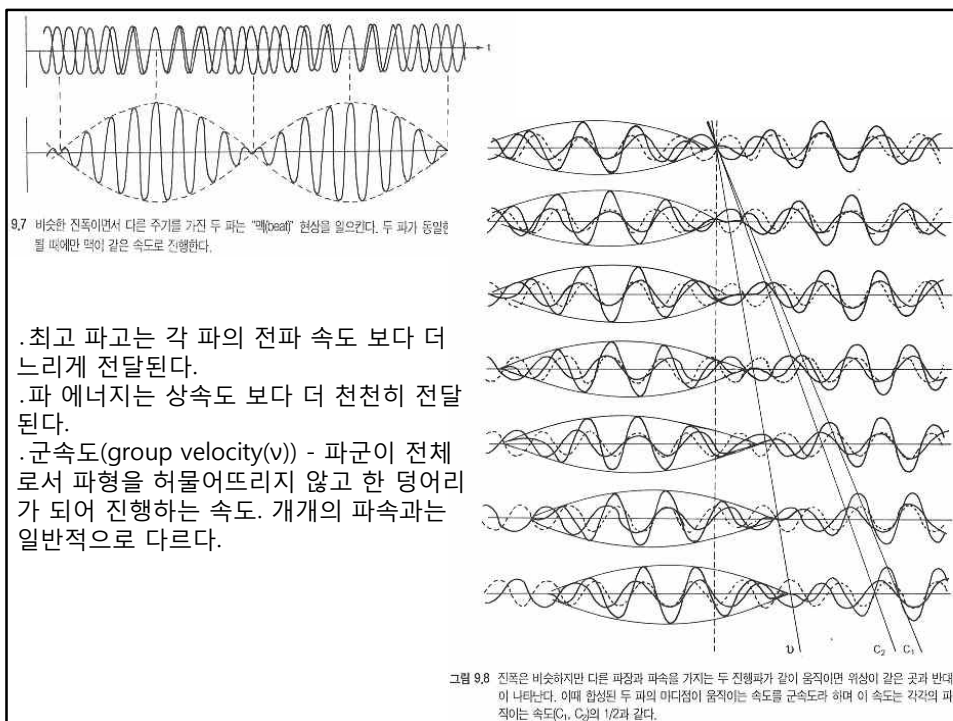
.파랑이 갖는 전체에너지
= 순간 Potential Energy + 순간 Kinetic Energy

→파랑의 단위면적의 에너지는 높이 H인 단위면적의 수용적을 거리 H/8만큼 올렸을 때의 일의 양과 같다는 것. (일 = 힘 × 거리)

이 식은 천해파와 심해파의 모든 파랑에 대해 성립.

.1km²의 면적에 1m의 파고가 가지는 wave energy: 1.2×10^9 (J)
= 순간 Potential Energy + 순간 Kinetic Energy

.wave dispersion(파의 분산)-같은 수면상을 파장이 다른 2개의 심해파가 동시에 같은 방향으로 진행한다고 하면 파장이 긴 쪽이 빠르게 진행하기 때문에 짧은 쪽이 뒤에 처지게 되는 현상. 심해파의 아주 중요한 성질.



▷ 심해파의 군속도 : $v = \frac{1}{2} C_d$

군파의 개개의 파의 마루는 그 진폭이 0이 되지않는 한 전진하는데 뒤쪽에서 새로운 마루가 생겨나고 동시에 앞쪽에서는 마루가 하나 사라지고 하는 식으로 파형이 붕괴됨이 없이 한 덩어리로 되어 군속으로 진행한다. 이 결과 군파는 개개의 파의 1/2의 속도로 진행하게 된다.

$$v = \frac{\Delta\omega}{\Delta k} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{k_1 - k_2} = \frac{c_1 \times c_2}{c_1 + c_2}$$

$$C_1 = \frac{\omega_1}{k_1}, C_2 = \frac{\omega_2}{k_2}$$

만약 C_1 과 C_2 가 거의 비슷하면

$$v \approx \frac{c^2}{2c} \approx \frac{c}{2}$$

▷ 천해파의 군속도 : $v = C_s$

$$= \frac{\Delta\omega}{\Delta k} = \frac{\partial\omega}{\partial k}$$

4. 파랑스펙트럼과 완전히 발달한 파랑

(Wave Spectrum and the Fully Developed Sea)

- . 해수면은 불규칙한 모양
- . 스펙트럼분석에 의해 복잡한 해수면 분석
 - > 가정: 다양한 진폭의 싸인파(sinusoidal wave)로 구성
- . wave spectra - 바람의 세기, 취송시간(duration; how long), 취송거리(fetch; distance) 에 의해 결정
 - . wind speed: 바람의 세기에 따라 진폭 증가
 - . duration(지속시간) - 일정한 바람이 계속 부는 시간:
 - 파의 성장에는 일정한 바람이 장시간 계속 부는 것이 중요한 요건
 - . Fetch(취송거리) - 일정한 바람이 불고 있는 풍상 측의 수면의 길이
 - > 어떤 곳을 지나고 있는 파가 가지고 있는 에너지는 그 장소에서 바람으로부터 받는 에너지와 풍상 측의 수면에서 얻은 에너지와의 합이기 때문에 취송거리가 큰 경우 파가 보다 큰 에너지를 가지며 파가 높게 된다.
 - . Fully developed sea(충분히 성장한 풍랑) - 바람에 의해 파에 전달된 에너지와 부서진 파에 의해 손실된 에너지가 같게 되는 평형 상태

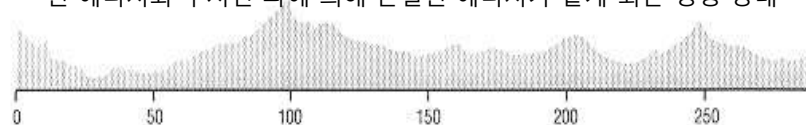


그림 9.10 바다표면의 입체경(steroscopic) 사진을 이용하여 단면을 그릴 수 있다. 이러한 작업은 바다표면의 단면을 그리는 데 종종 사용된다.

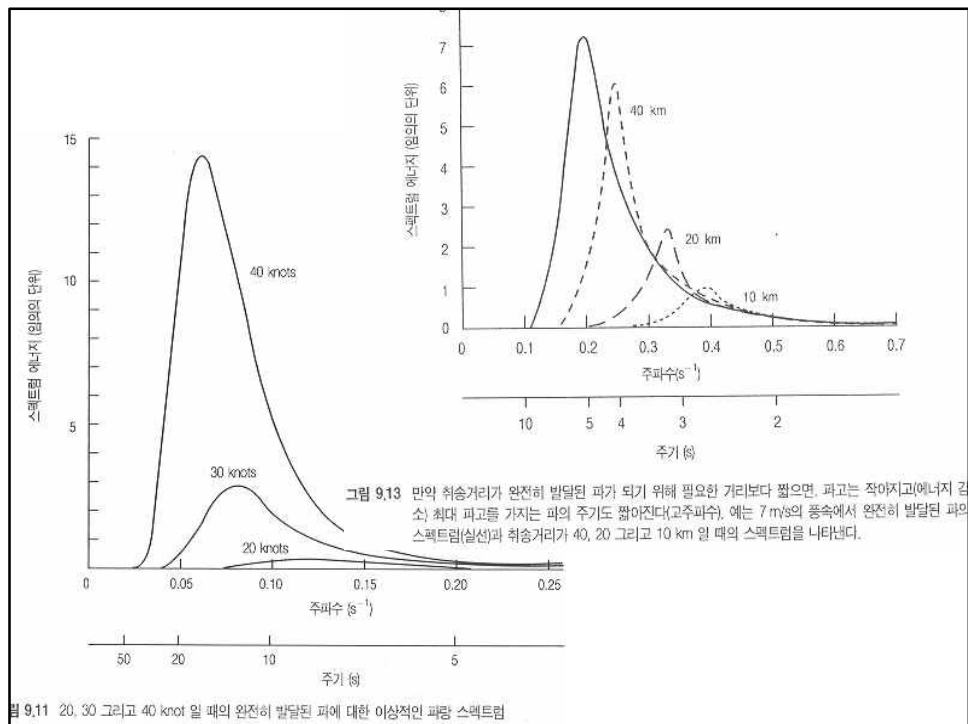


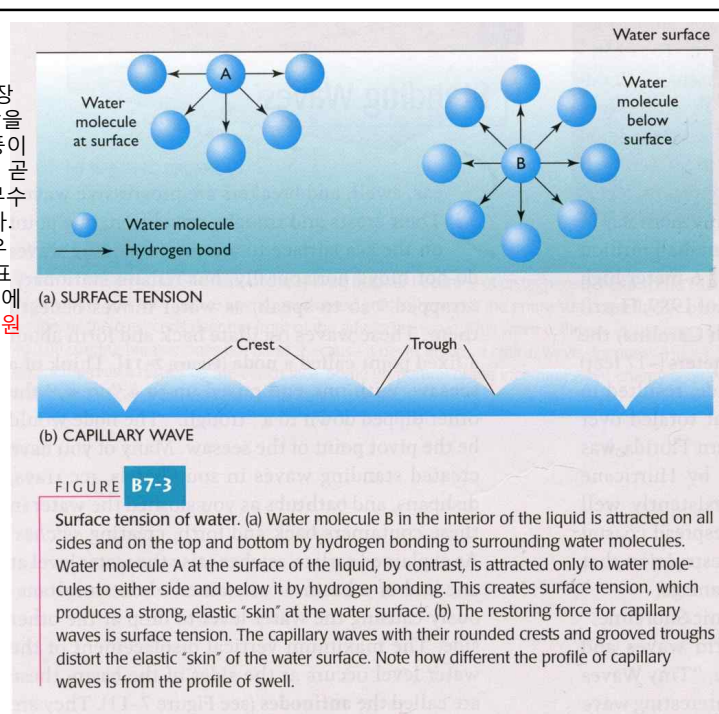
그림 9.11 20, 30 그리고 40 knot 일 때의 완전히 발달된 파에 대한 이상적인 파랑 스펙트럼

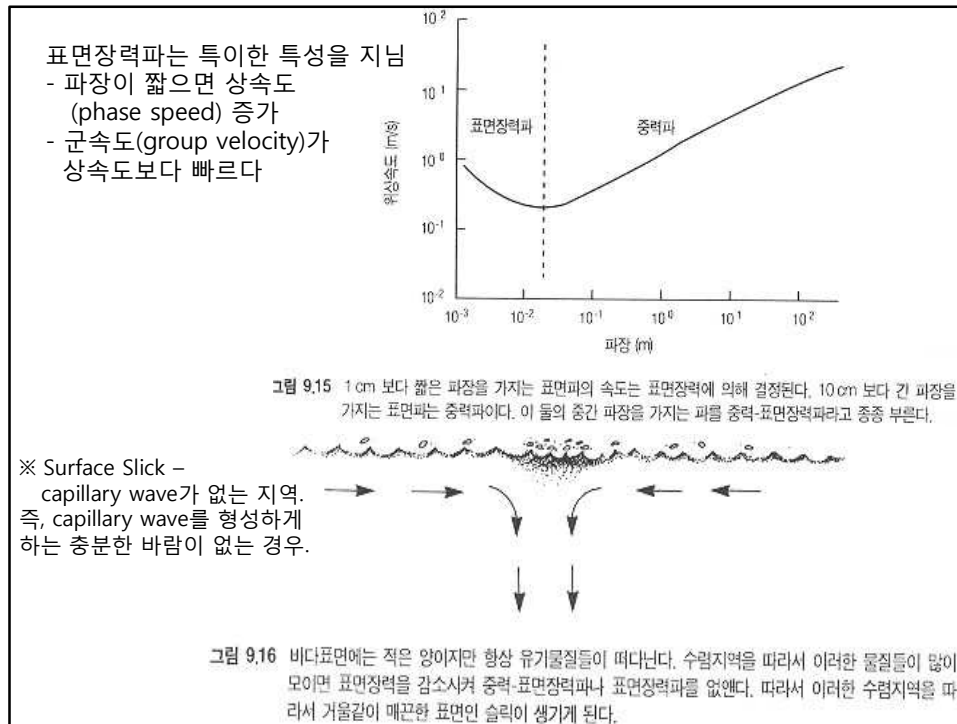
5. 표면장력과

.Capillary wave(표면장력파) - 평평한 해면상을 약 1m/sec 이하의 미풍이 불기 시작하면 해면은 곧 파장 약 2cm 이하의 무수한 작은 파도로 덮인다. 이러한 작은 파의 경우 수면의 곡률이 크고, 표면적이 증가하기 때문에 표면장력이 중요한 복원력으로 작용한다.

$$C_d^2 = \frac{g}{k} + \frac{k}{\rho} \zeta$$

(ζ : 표면장력)





6. 파의 형성, 전파 그리고 소멸

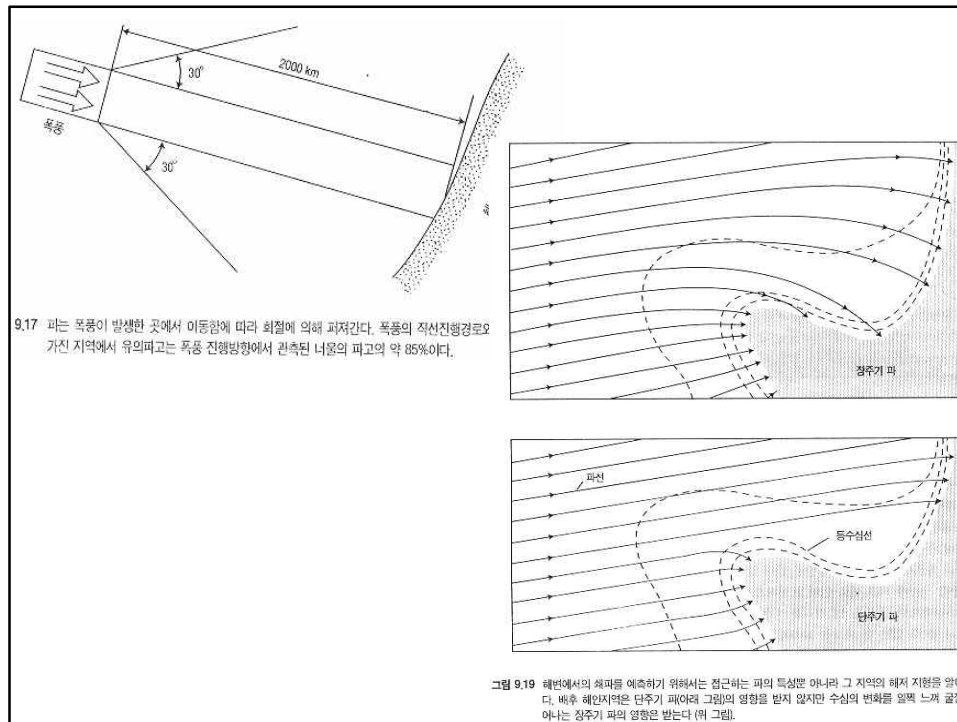
(1) 파의 형성

- . Ursell(1956) - "해면 위에 부는 바람은, 알려져 있지 않은 물리적 작용을 통하여 해면의 파를 일으킨다."
- . 바람은 공기의 수평운동이기 때문에 그것이 표면 마찰에 의해 해수를 바람이 불어 가는 방향으로 끌고, 흐름을 일으키는 이유는 알지만 그 바람이 어떻게 하여 파도라는 해면의 승강운동을 일으키는 것인지 그 기작에 관해서는 현재에도 충분히 알려져 있지 않다.

(2) 파의 전파

- . 연안으로부터 2000km 떨어진 곳에서 폭풍이 fully developed sea을 이루었다고 가정하면,
- 폭풍이 발생지역을 벗어날 때, 상당량의 회절(diffraction)이 일어남.
- . 경험적으로, 유의파고(significant wave height)의 비는 다음과 같이 감소한다.

$$H = H \cos \theta$$



(3) 파의 소멸

·해안으로 접근하는 파는 연안의 돌출된 부근에서는 해저 마찰의 영향을 받아 느려짐. $C_s = \sqrt{gh}$

·깊은 골에서는 더 빨리 전파.

·파의 주기는 변하지 않기 때문에 $C=L/T$ 란 방정식에 의해 파속이 감소함에 따라 파장이 줄고 파고가 높아진다는 것을 알 수 있다 (평균에너지/단위 면적이 증가하기 때문).

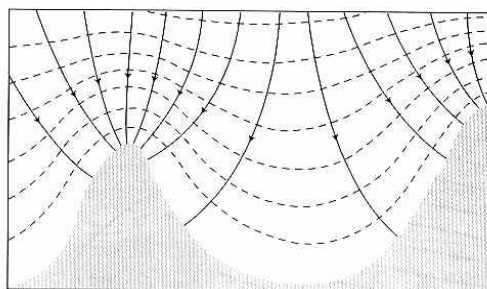


그림 9.18 전해로 접근하면서 파는 느려지고, 그 결과 앞은 수심쪽으로 굴절이 일어난다 (등수심선은 점선으로 표시되었다. 두 개의 파선(화살표를 가진 실선) 사이의 에너지가 밀집하다고 보기 때문에 얕은 파고의 증가가, 해령에서는 파고의 감소가 일어난다.

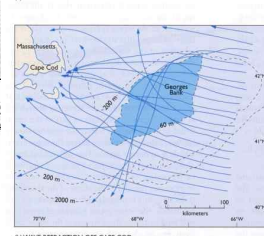
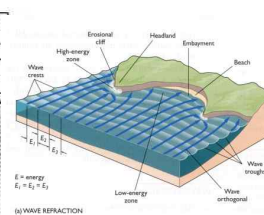


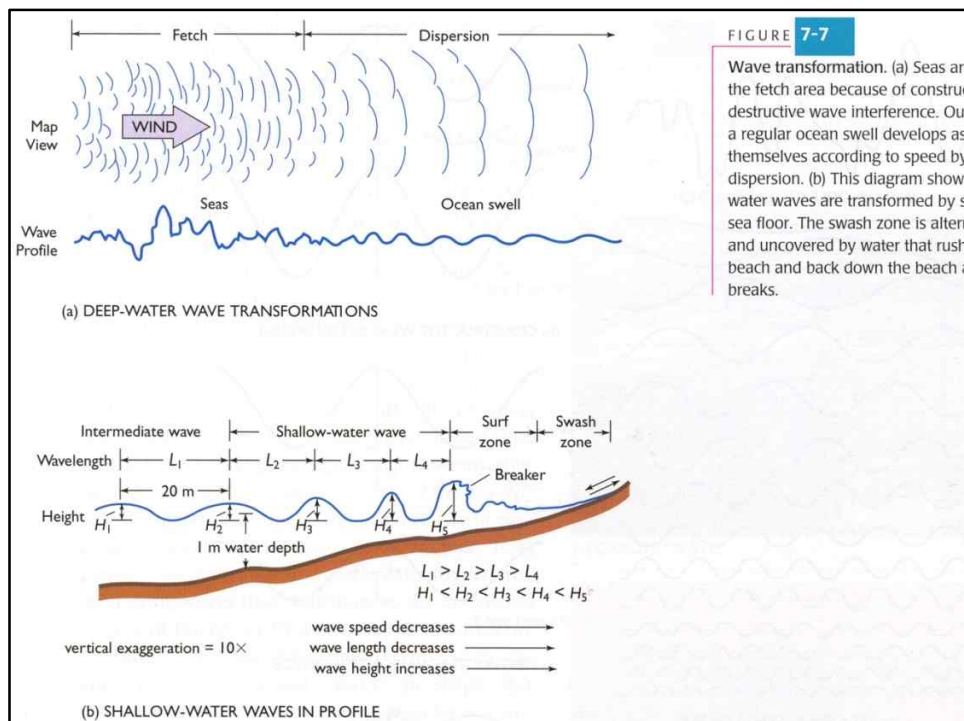
FIGURE 9.19 Wave refraction. (a) This block diagram shows the pattern of wave refraction along an irregular shoreline. Notice that the relatively straight wave crests offshore become bent as they proceed onshore and mimic the general shape of the coastline. The wave orthogonals (wave rays), which are drawn perpendicular to the wave crests, indicate that wave energy is focused on the headlands (high wave energy) and defocused in the embayments (low wave energy). (b) Georges Bank, an important fishing ground, is located several hundred kilometers offshore of Cape Cod, Massachusetts. The refraction of waves over the bank creates a very irregular pattern of wave rays. Note that many wave rays cross each other. Some are so sharply bent to the south that they miss Cape Cod entirely. Also, observe how Georges Bank focuses wave energy on the southeastern end of Cape Cod. (Adapted from Earle, M. D., and D. S. Menden, *Georges Bank*, MIT Press, 1987.)

.Breaker(쇄파) - 해파가 점차적으로 천해역으로 진입해 오면 파장이 작아지며 파고가 커지며, 따라서 파형경사(H/L)가 커짐에 따라 어느 수심에 이르러서는 깨어져 버린다.

▷ 쇄파가 일어나는 조건

- ① 수심이 파고의 1.28배 보다 적게 되었을 때
- ② 파형경사가 1/7보다 클 때

.swell(너울) - 풍파(wind wave)가 폭풍역을 벗어나 진행하게 되면, 해면은 평온해 지면서 파장이 길어지며, 느리고 짧은 파랑보다 빨리 진행하게 된다. 너울은 큰 에너지를 가지고 있기 때문에 거의 같은 파고로 멀리까지 전해질 수 있다. 이 너울파가 연안의 해저면에 부딪치면 파는 깨지는데 이를 연안쇄파라 한다.



7. 연안류와 이안류

.longshore current(연안류) - 쇄파가 일어나기 전에 파랑에너지 중 해안에 평행한 성분으로 인하여 해수가 해안과 평행한 방향으로 이동하는 것.

▷ 파가 해안선에 평행하게 부서질 때 --> 연안류는 대칭구조 모습을 갖는다

.rip current(이안류)- 해안선에 직각 방향으로 멀어져 가는 표층류로 폭이 좁다.

→ 해저지형, 연안 지형의 모습이 영향.

▷ 지형이 복잡하지 않을 경우

→ 해안선을 따라 전파하는 "edge" wave와 관계가 있다.

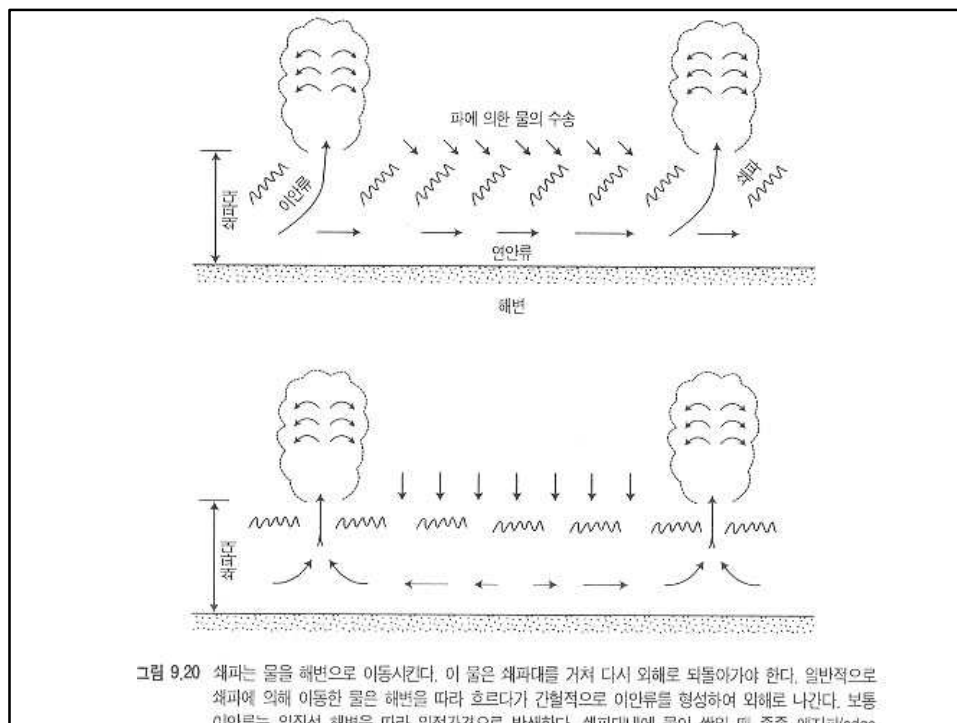


그림 9.20 쇄파는 물을 해변으로 이동시킨다. 이 물은 쇄파대를 거쳐 다시 외해로 되돌아가야 한다. 일반적으로 쇄파에 의해 이동한 물은 해변을 따라 흐르다가 간헐적으로 이안류를 형성하여 외해로 나간다. 보통 이안류는 일직선 해변을 따라 일직각으로 발생한다. 쇄파대에 물이 쌓인 때 조종 에지(edge

