

선박의 운동과 조종

2018. 5

류재문

6.1 선박의 운동

- Wave Force (파력)
- Seakeeping (내항성)
 - 파도중 선박의 동요 – surge sway, heave
roll, pitch, yaw
 - wave loads – shear forces and bending
moments
 - slamming, deck wetness, green water,
sloshing

- Added resistance and speed loss – voluntary and involuntary
- Cpasizing, whipping, springing, parametric roll

선형 중첩

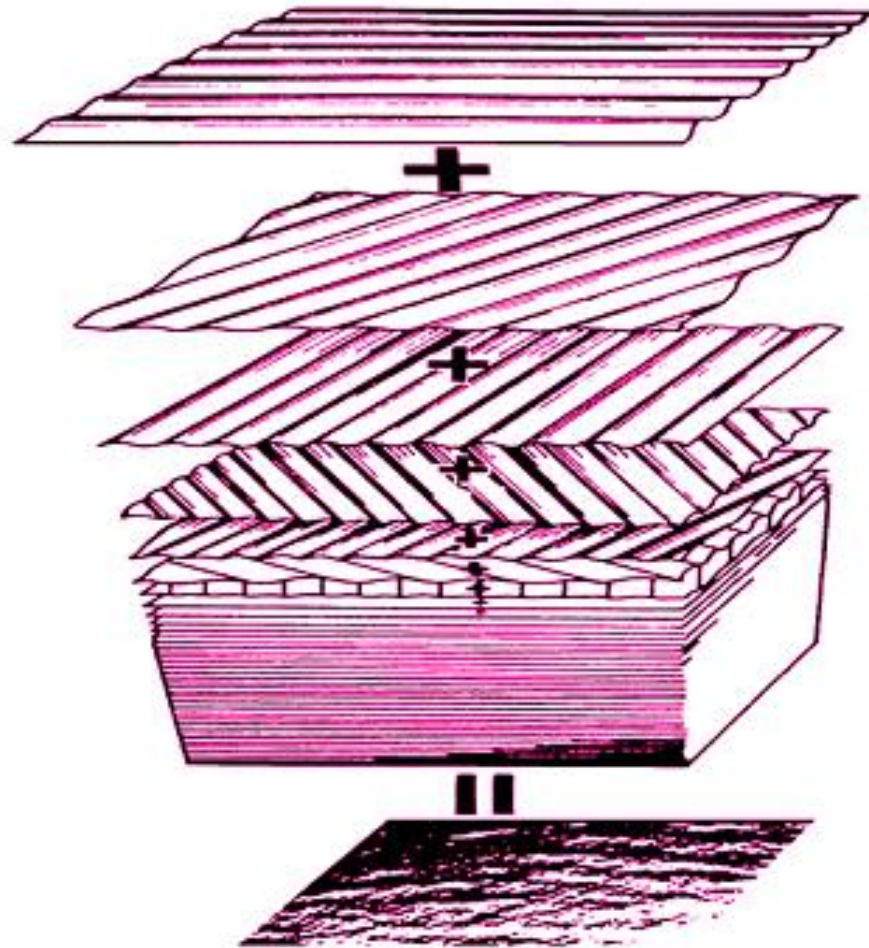
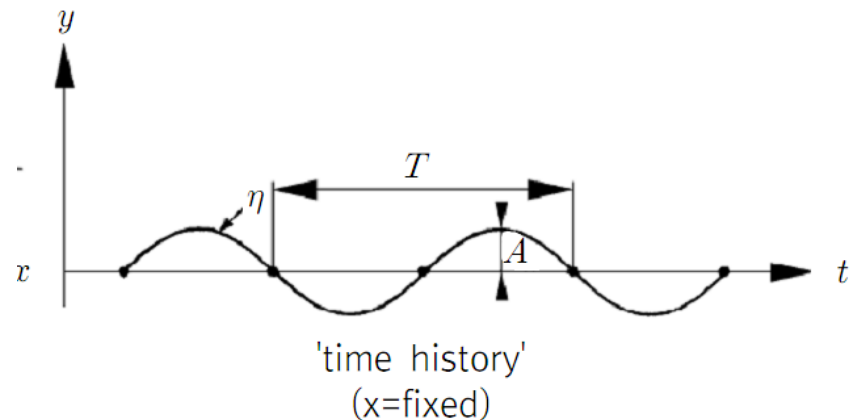
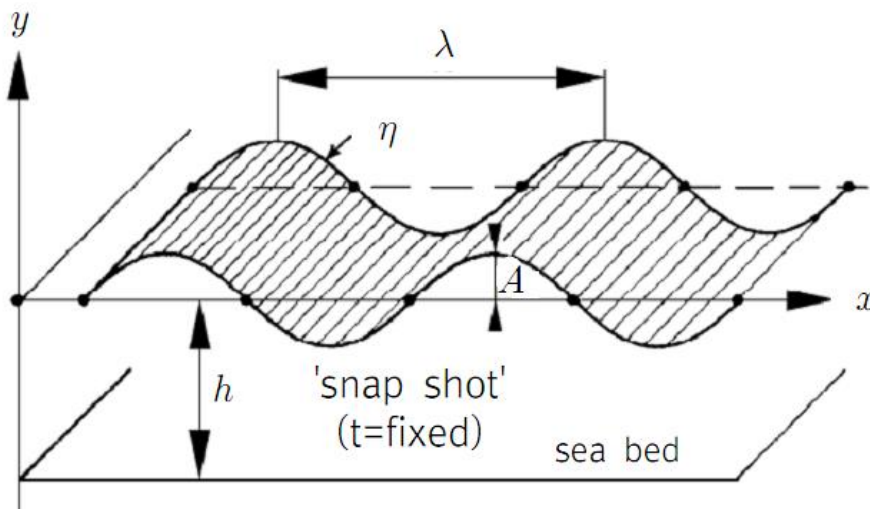


그림 6.1 수없이 많은 규칙파의 중첩으로 이루어진 불규칙파

Regular Waves

- A : 진폭(amplitude)
- k : 파수(wave number)
- ω : 주파수(frequency)



- Wave crest and trough (파정과 파저)
- Wave height $H = 2A$
- $k\lambda = 2\pi$, 또는 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$
- $\omega T = 2\pi$, 또는 $\omega = \frac{2\pi}{T}$.
- $\theta(x, t) = kx - \omega t = k\left(x - \frac{\omega}{k}t\right) = k(x - ct)$, $c \equiv \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T}$
- $\eta = A \cos\{k(x - ct)\}$

Dispersion Relation

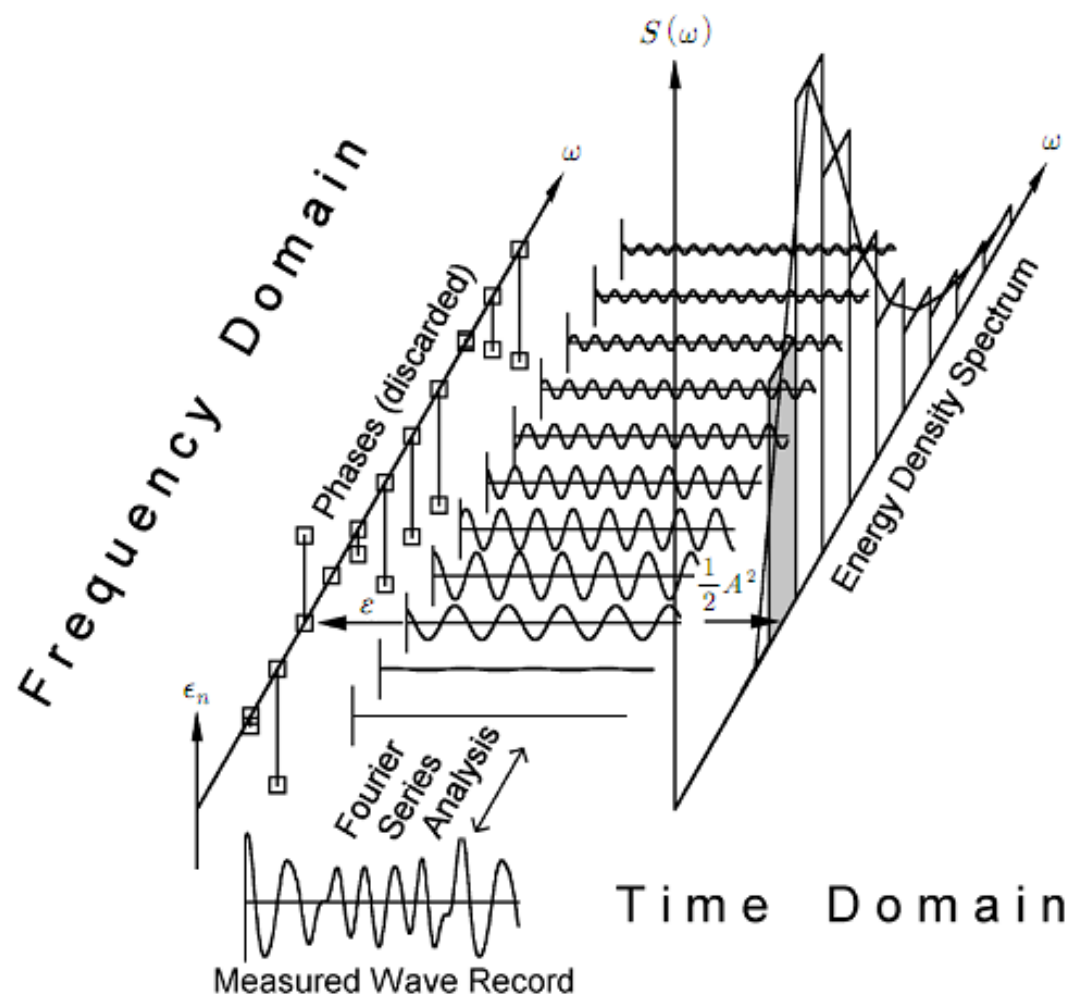
- 파의 시간적 주기성과 공간적 주기성 사이의 관계
- $\omega^2 = gk$
- $\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2$
- $c^2 = \frac{\omega^2}{k^2} = \frac{gk}{k^2} = \frac{g}{k} = \frac{g}{2\pi} \lambda, \quad c = \frac{g}{2\pi} T$
- 너울 (swell)

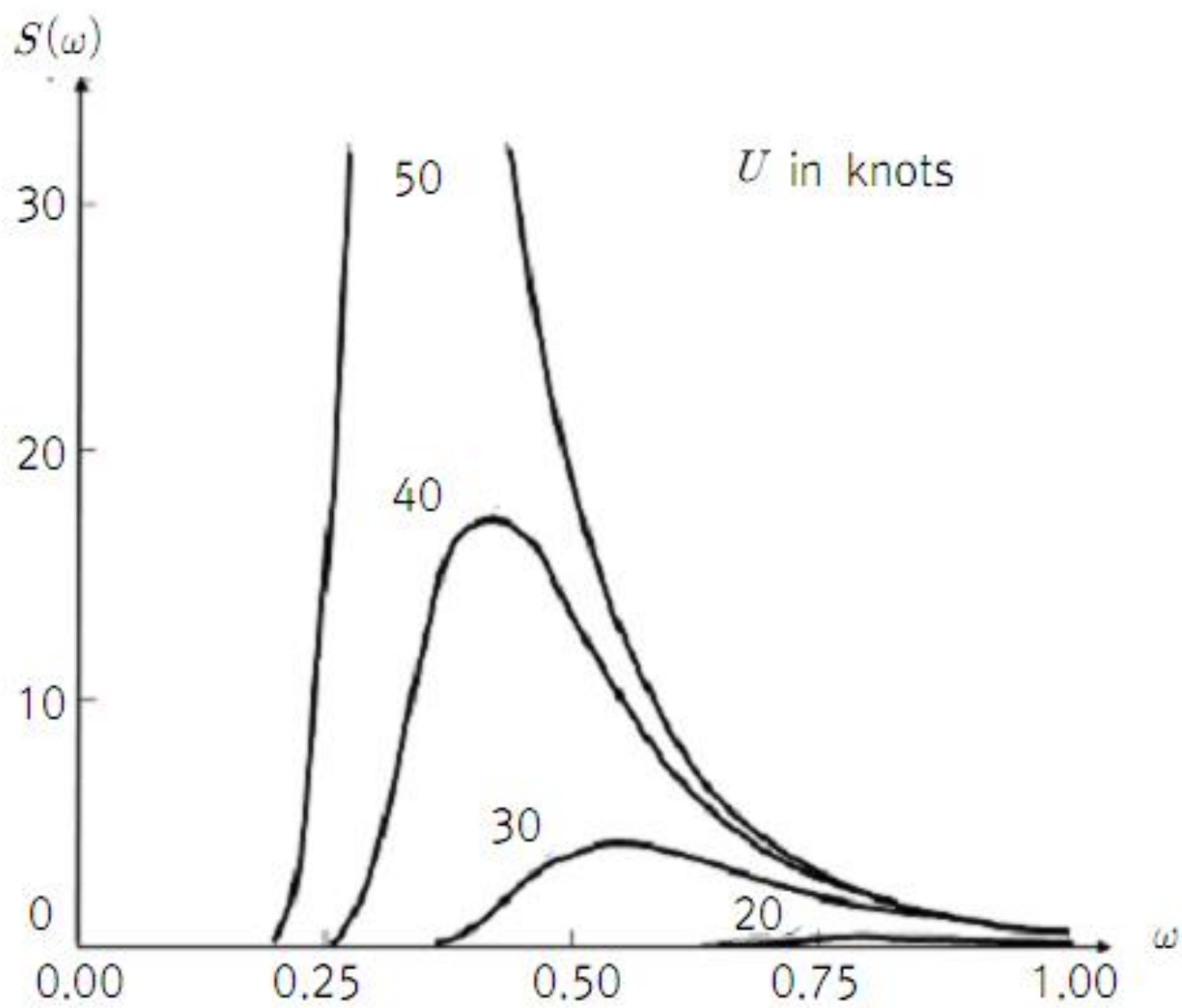
불규칙파 (Irregular Waves)

- $$\eta(x,t) = \sum_{n=1}^N A_n \cos(k_n x - \omega_n t + \epsilon_n)$$

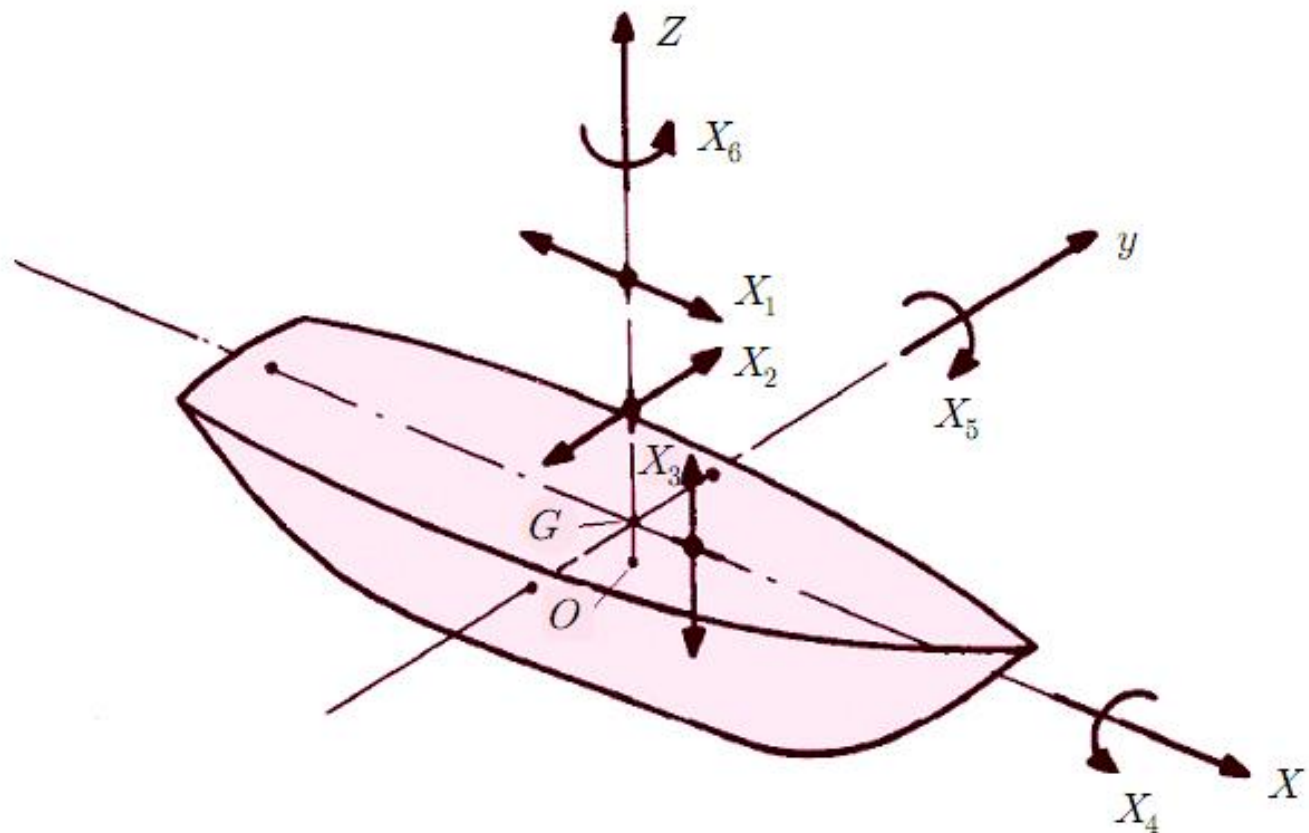
- Pierson-Moskowitz Spectrum

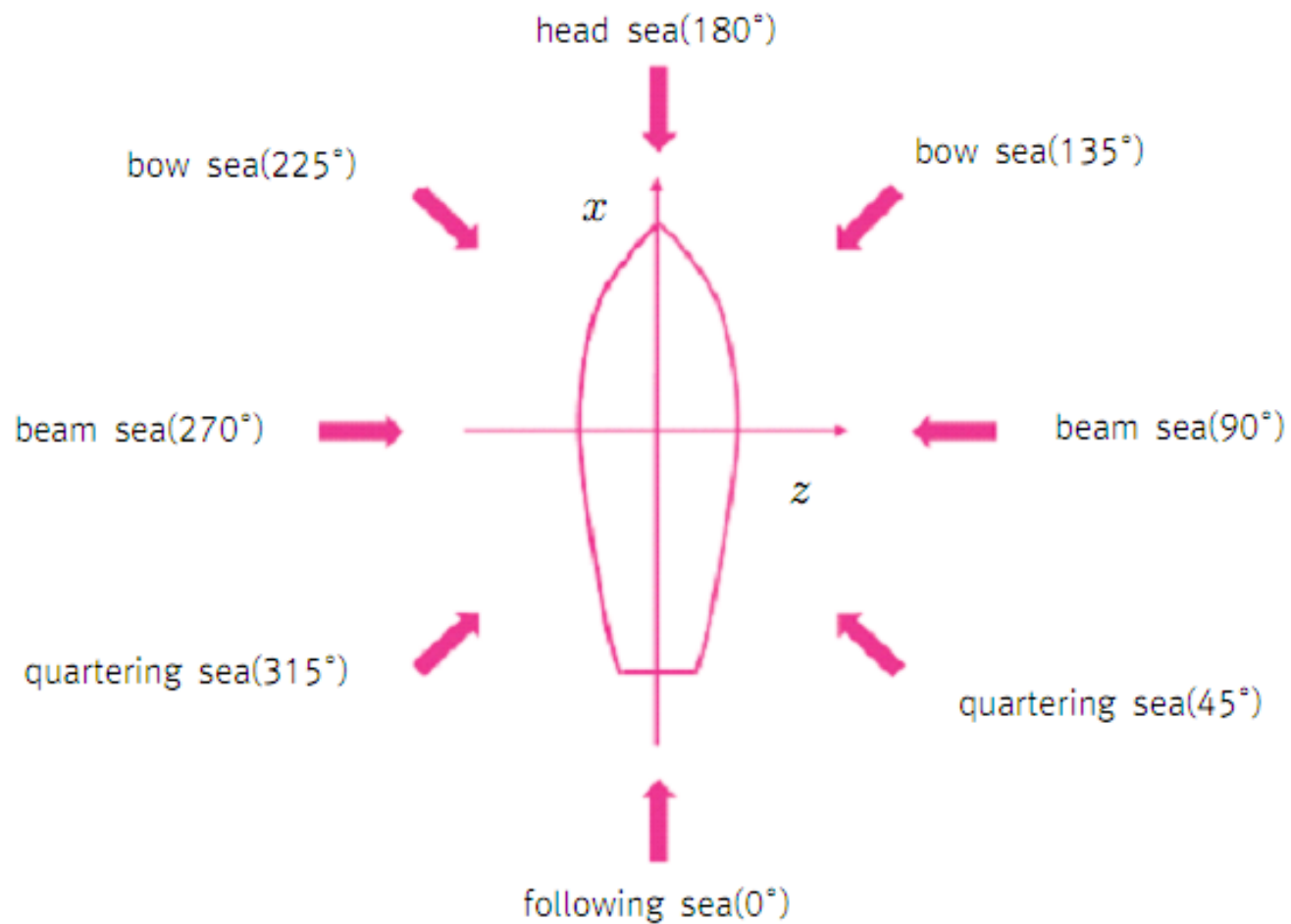
$$S(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp \left[-\beta \left(\frac{g}{U\omega} \right)^4 \right], \quad \alpha = 8.1 \times 10^{-3}, \quad \beta = 0.74$$





파도 중의 동요





$$\omega_e = \omega - k U_0 \cos \mu = \omega - \frac{U_0 \cos \mu}{g} \omega^2$$

과도한 동요에 의한 현상

- 횡동요 방지 – bilge keel, anti-rolling, stabilizing fin (fin stabilizer), gyroscopic 안정기
- 횡동요 고유주기 \sqrt{GM} 에 반비례
- Deck wetness, Green water
- Slamming
- Sloshing - 동영상

Wave Load Test

· Irr. No. 3-1

· $F_n = 0.25$



내항성 모형시험

표 6.1 내항성 수조시험에서 고려할 항목

조사대상	선박의 상태	항주 상태	파도의 상태
1.직접법(시험적) 1)선체운동 2)저항추진 3)파도하중 2.간접법(해석적) 1)부가질량, 감쇠력 2)파도강제력 3)기타 역학적량	1.정적요소 1)선형 2)배수량 3)흘수 2.동적요소 1)중심위치 2)관성반경 3)갑판상부구조	1.운동의 자유도 1)완전고정 2)부분고정 3)완전자유 2.선속 1)항주 2)정지 3.추진법 1)예인 2)자항	1.주기의 형태 1)규칙파 2)불규칙파 2.파 만남각 1)정면파 2)사파 3.파정의 형태 1)장파정파 2)단파정파

표 6.2 내항성 수조시험의 조사 대상

조사대상		조사항목	조사내용	특기 사항
직접법	선체운동	6자유도 동요 (pitch, roll, yaw, heave, surge, sway)	변위, 속도, 가속도 등의 진폭 및 위상차와 주파수에 따른 변화	선수미 상하가속도 상대운동 갑판침수 프로펠러 racing
	저항추진	저항증가 추력증가 토크 증가 회전수 증가	주로 증가량의 평균치와 주파수에 따른 변화	저항, 추력, 토크 변동 최대치 회전수의 변화 선속 저하 등
	파 하중	종방향 및 횡방향 굽힘모멘트 국부하중	진폭과 위상차의 주파수에 따른 변화	슬래밍 whipping
간접법	부가질량 감쇠력	부가질량 및 감쇠력	각종 계수의 주파수에 따른 변화	단면 형상에 대한 부가질량 및 감쇠계수
	파 강제력	파 강제력	주파수에 따른 변화	단면 형상에 대한 파 강제력
	기타	ART의 bench test에 의한 anti rolling moment의 측정 등		

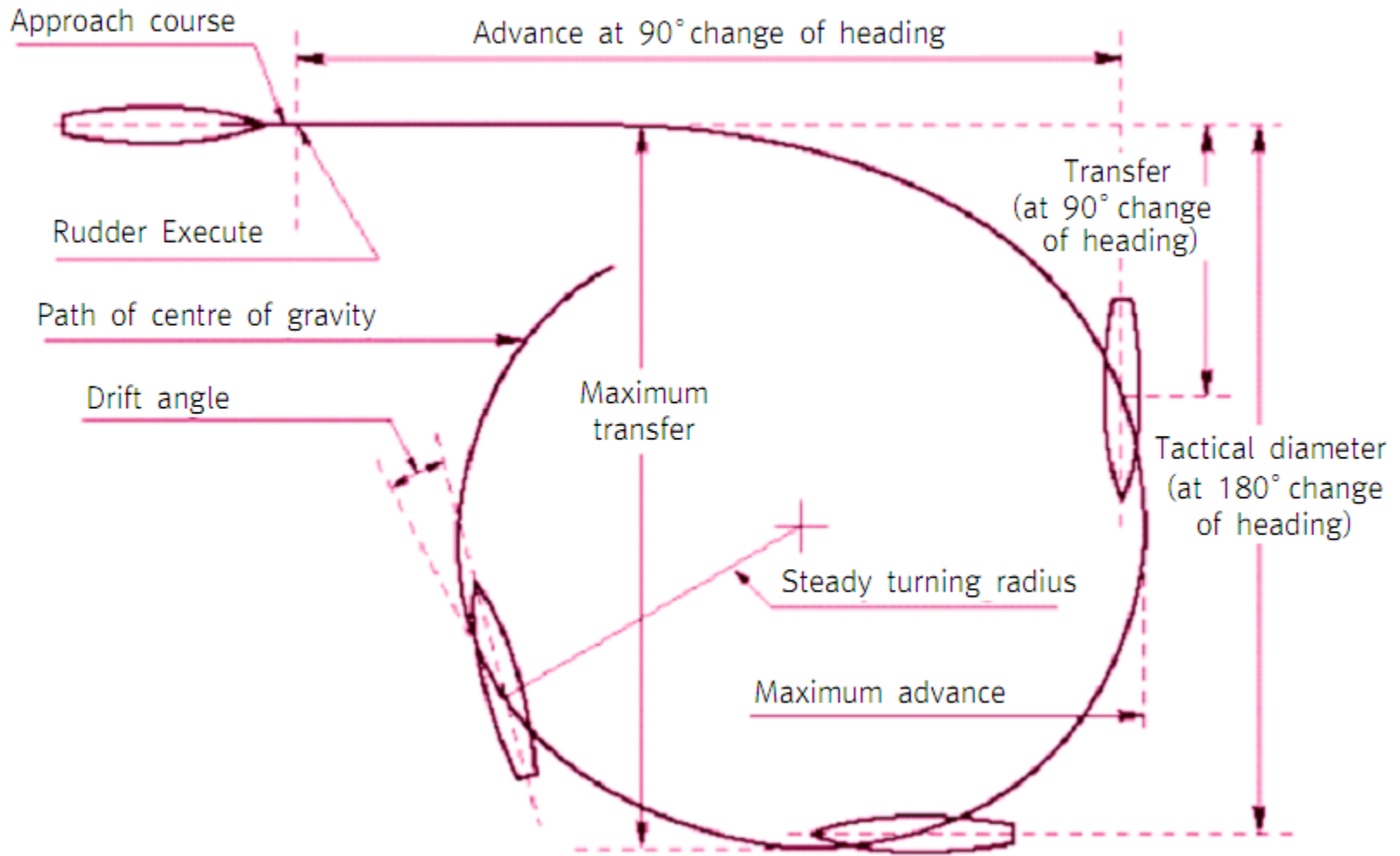
선박의 조종

- 선박의 조종성능(controllability)
 - 출발, 가속 및 정상침로에서의 조종 선회, 감속, 후진 등
 - 보침성(coursekeeping)
 - 조종성(maneuvering)
 - 변속(speed change)

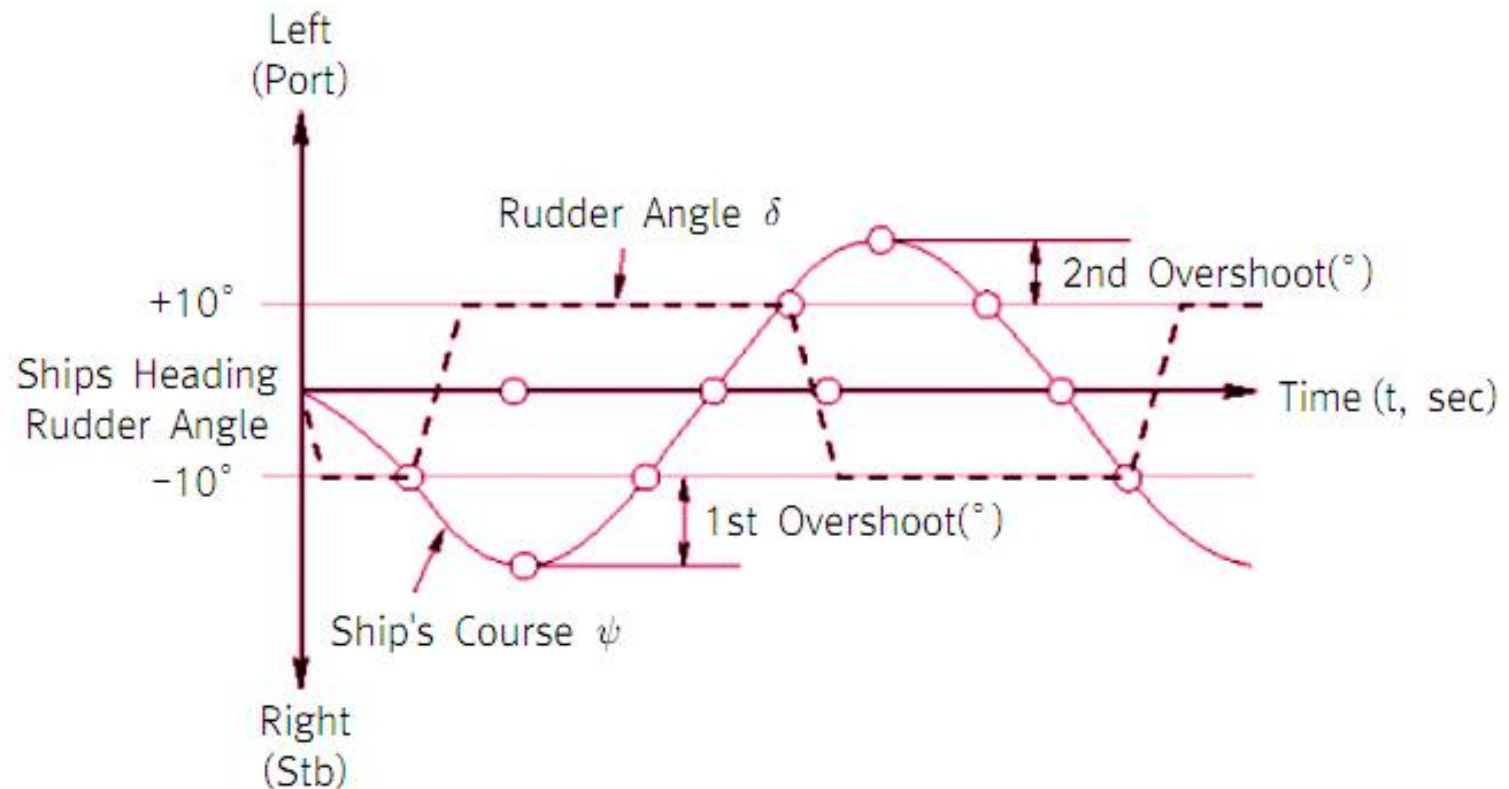
조종성 평가

- 선회시험(turning test) – 타각 35도
- 지그재그시험(zigzag test or Z test) – 10° / 10°
 20° / 20°
- 정지시험(stopping test)

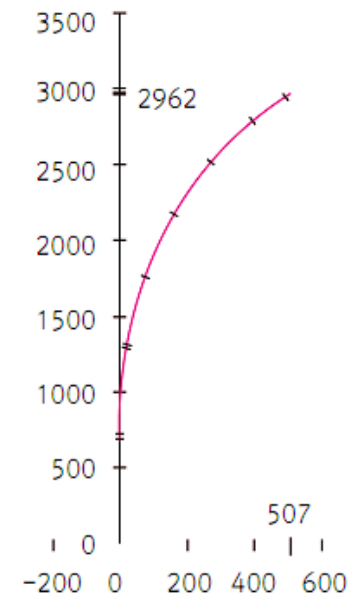
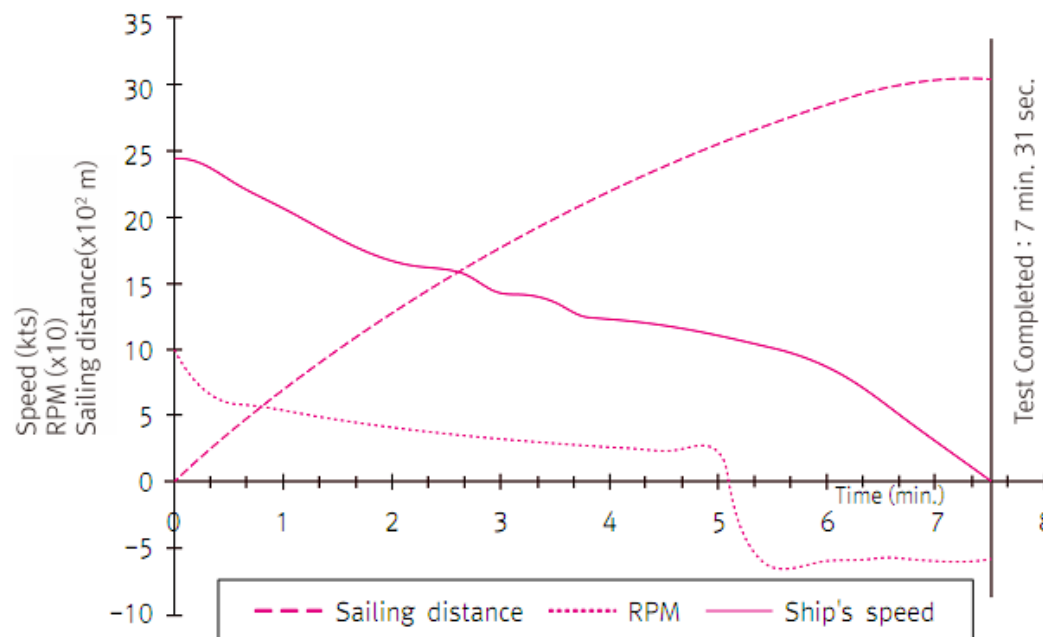
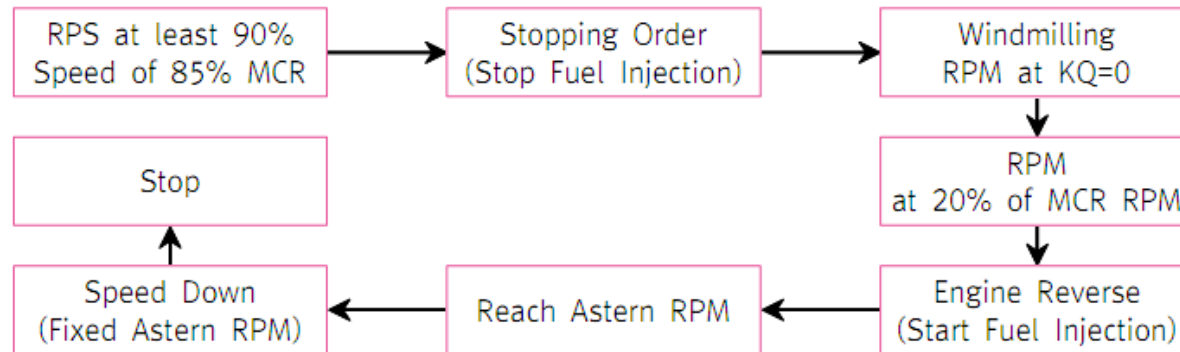
선회시험



Zig-Zag Test



Stopping Test



선형과 조종성능

- 선수성능 - 미미하나 직진안정성은 U형 유리함. 구상선수 형상 및 크기도 영향 줌
- 선미형상 - 횡방향 투영면적 클수록 직진 안정성 유리 ➔ 선미스케그



V형 선미프레임 선형



U형 선미프레임 선형

표 6.3 선미선형 변화에 따른 조종성능 변화

		V형 단면	U형 단면	IMO 규정
선회성능	전진거리/ L	2.91	3.15	4.5
	기동직경/ L	2.79	3.33	5.0
10° /10° 지그재그	$\Delta\psi_1(^{\circ})$	15.97	11.43	20.0
	$\Delta\psi_2(^{\circ})$	52.96	33.71	35.0
20° /20° 지그재그	$\Delta\psi_1(^{\circ})$	24.90	20.81	25.0

타 (Rudder)

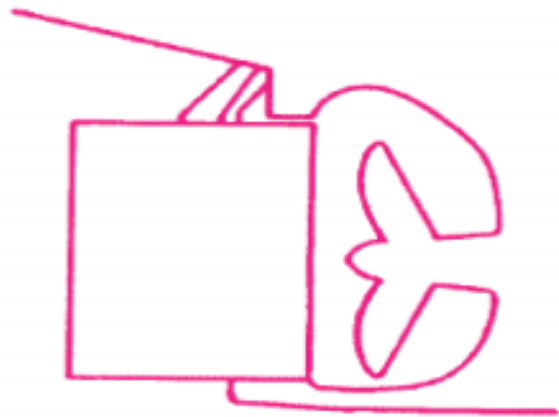
- 타 설계시 고려사항

- 1) 측면에서 바라볼 때, 타가 선박의 기선(base line)보다 내려가거나 선미보다 뒤로 돌출되지 않아야 한다.
- 2) 타는 직진 시 속도 손실을 최소화 하는 방향으로 설계되어야 한다.
- 3) 타, 타두재, 타의 지지재 및 조타장치들은 함께 고려되어야 하고, 요구되는 신뢰도를 유지하면서 최소한의 크기와 중량을 가져야 하며, 복잡성, 초기가격과 유지비가 낮아야 한다.
- 4) 타에 기인하여 발생하는 선체진동과 같은 불리한 영향들은 허용한계 이하로 억제되어야 한다.

• 유체역학 측면

- 1) 타의 위치: 타는 선미 프로펠러의 후류에 위치시킴으로써 속도가 낮거나 또는 영일 때도 적절한 타력을 확보할 수 있다.
- 2) 직선안정성과 조종성능과 관련하여 충분한 타 면적을 가져야 한다. 특히 비대한 선박의 경우에는 직선안정성 면에서 충분한 고려가 필요하다.
- 3) 타의 크기는 일반적으로 선미 형상과 흘수에 의하여 제한되지만 효율을 증가시키기 위해서는, 타의 연직방향 길이인 스패(span)과 타의 선수미방향 길이인 코드(chord)의 비인 종횡비(aspect ratio)를 크게 해야 하므로, 가능한 한 타의 스패를 크게 해야 한다.
- 4) 일반적으로 타의 회전속도는 $2.33^{\circ}/s$ 로 고정되어 있으나 타 회전속도를 증가시키면 조종성능이 제한적인 범위 내에서 향상된다. 비대한 선박의 경우에는 타의 회전 속도보다는 타의 면적을 증가시키는 것이 효과적이다.

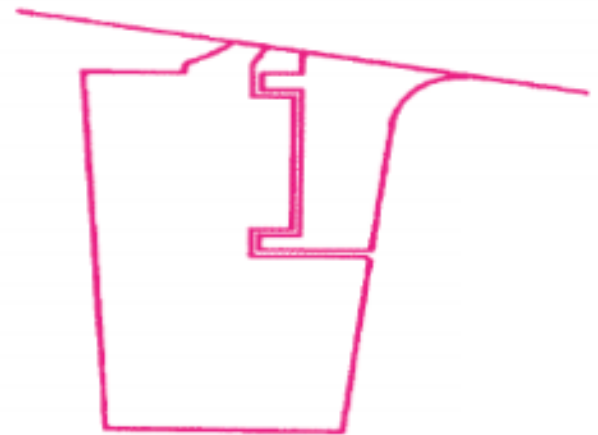
타 형상



Simplex rudder



Spade rudder



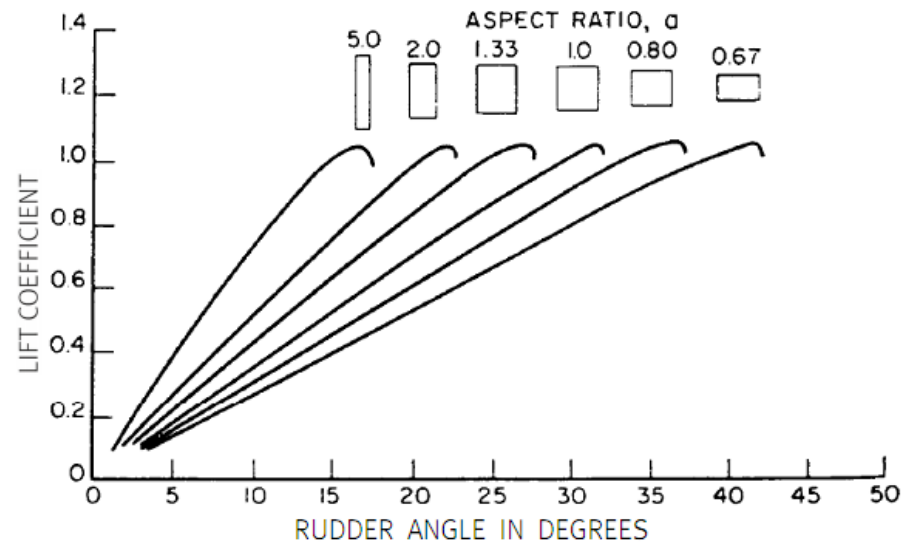
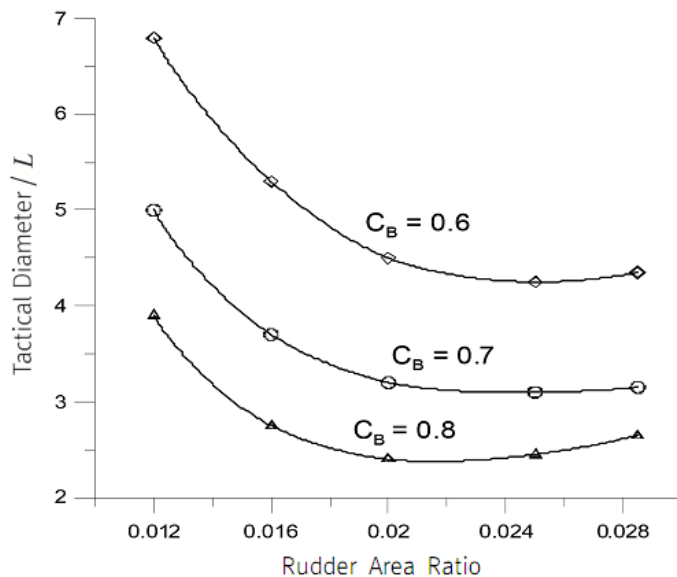
Semi-balanced
rudder

그림 6.15 다양한 형태의 타

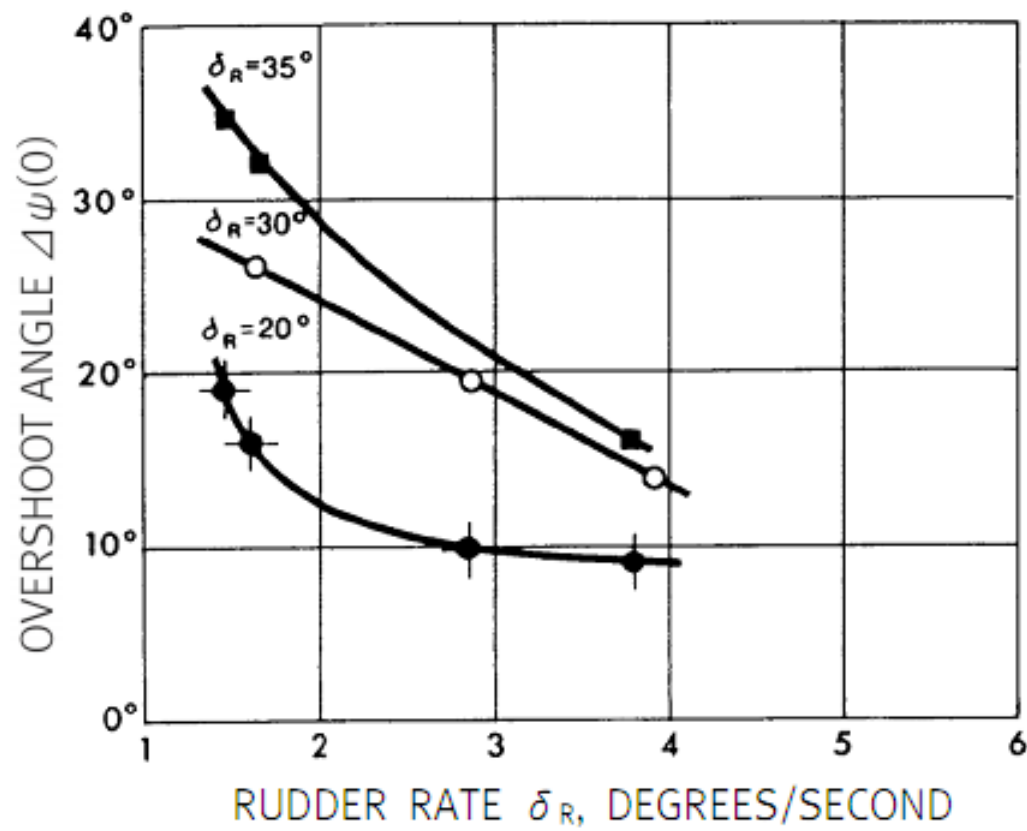
타 면적

- DNV 제안 식

$$r_R \equiv \frac{A_R}{L T} = \frac{1}{100} \left[1 + \frac{25}{(L/B)^2} \right]$$



타 회전속도



특수 타

