

자력 도선



한국선장포럼

목 차

1. 도선 및 항법 관련 법규
2. 도선의 주요 요소
3. 접 · 이안 도선 작업 기본 요령

1. 도선 및 항법 관련 법규

1.1 도선법

- 내국 선장이 3만톤 미만 선박에서 1년에 4회 이상, 3년에 9회 이상
입항시 강제 도선 면제 가능
 - 선종, 기간에 따라 톤수의 증감 가능

1.2 해상 교통 법규의 적용 순서

- 선박 입출항법 > 해상교통 안전법 > 국제 규칙

1. 도선 및 항법 관련 법규

1.3 예선 관련 법규

- B/T 장착 선박 예선 사용 기준 (부산항 도선사회 예선 사용기준)

예선사용선박규모별 (G/T)	사용예선	비고
5천톤 미만	1천마력급 1척	
5천톤 이상 - 1만톤 미만	1천마력급 1척 또는 2천마력급 1척	
1만톤 이상 - 2만톤 미만	2천마력급 1척	
2만톤 이상 - 4만톤 미만	3천마력급 1척	
4만톤 이상 - 6만톤 미만	3천마력급 1척 또는 4천마력급 1척	1척
6만톤 이상 - 8만톤 미만	3천마력급 1척 4천마력급 1척	2척
8만톤 이상 - 16만톤 미만	4천마력급 1척 5천마력급 1척	2척
16만톤 이상	5천마력급 2척	2척

2. 도선의 주요 요소

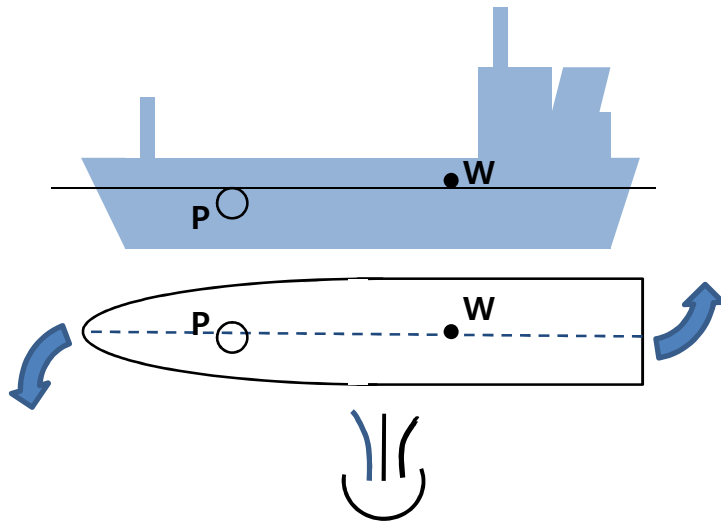
2.1 타력 (속력)

- 정박중이거나 항행중인 다른 선박에 위험을 주지 않는 안전한 속력을 유지한다.
- 타효(Rudder effect)를 가질 수 있는 속력을 유지한다. (통상 3~4kts)
- 부두 앞에서는 B/T와 예선을 사용하는 데 지장이 없는 속력이어야 한다.
- 접안 직전에는 극미속 전진(Dead slow ahead; D/A)과 미속 전진(Slow ahead; S/A) 만으로 선박을 정지시킬 수 있는 타력을 유지
 - 통상 5kts 이하 또는 RPM이 0을 가리킬 때 후진 기관 사용 가능
- 일반적인 부두 접근 안전 속력 기준은 다음과 같다. (길이 180m 선박 기준)
 - 5L : 5 Kts (2.5m/sec) - 후진 기관을 언제든지 사용 가능
 - 4L : 4 Kts (2m/sec)
 - 3L : 3 Kts (1.5m/sec) - 보통 성인 남성의 빠른 걸음
 - 2L 이하 : 2~3 Kts - 너무 저속 시 바람, 조류 등으로 쉽게 압류

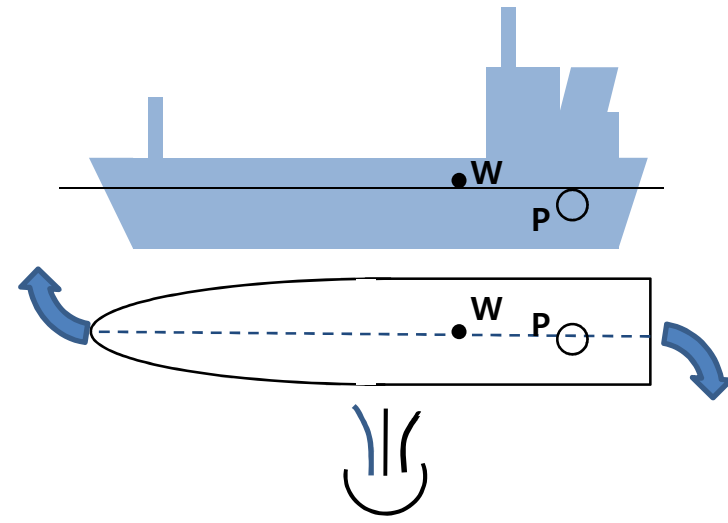
2. 도선의 주요 요소

2.2 외력

2.2.1 바람의 영향



[그림 1-a] 만선-등흘수 상태에서 전진중인 선박의 바람 영향

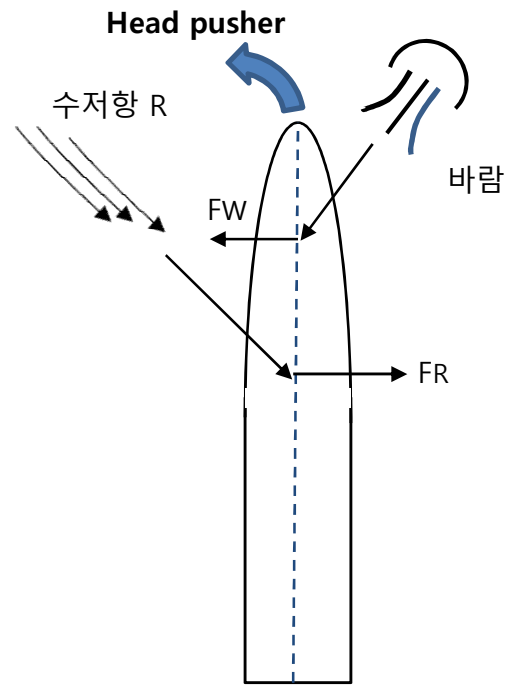


[그림 1-b] 만선-등흘수 상태에서 후진중인 선박의 바람 영향

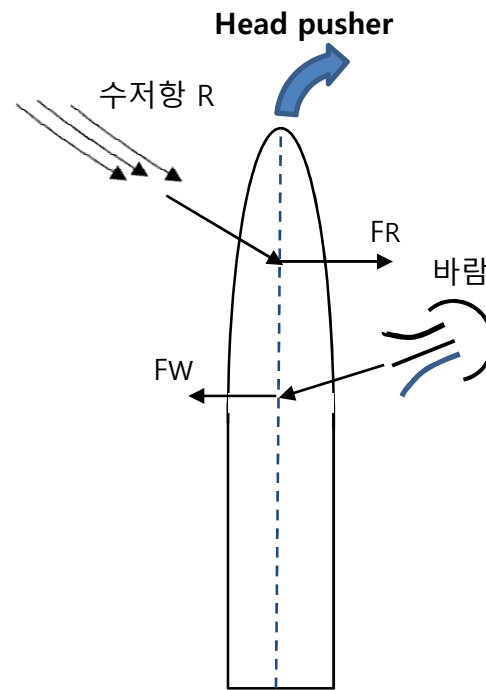
2. 도선의 주요 요소

2.2 외력

2.2.1 바람의 영향



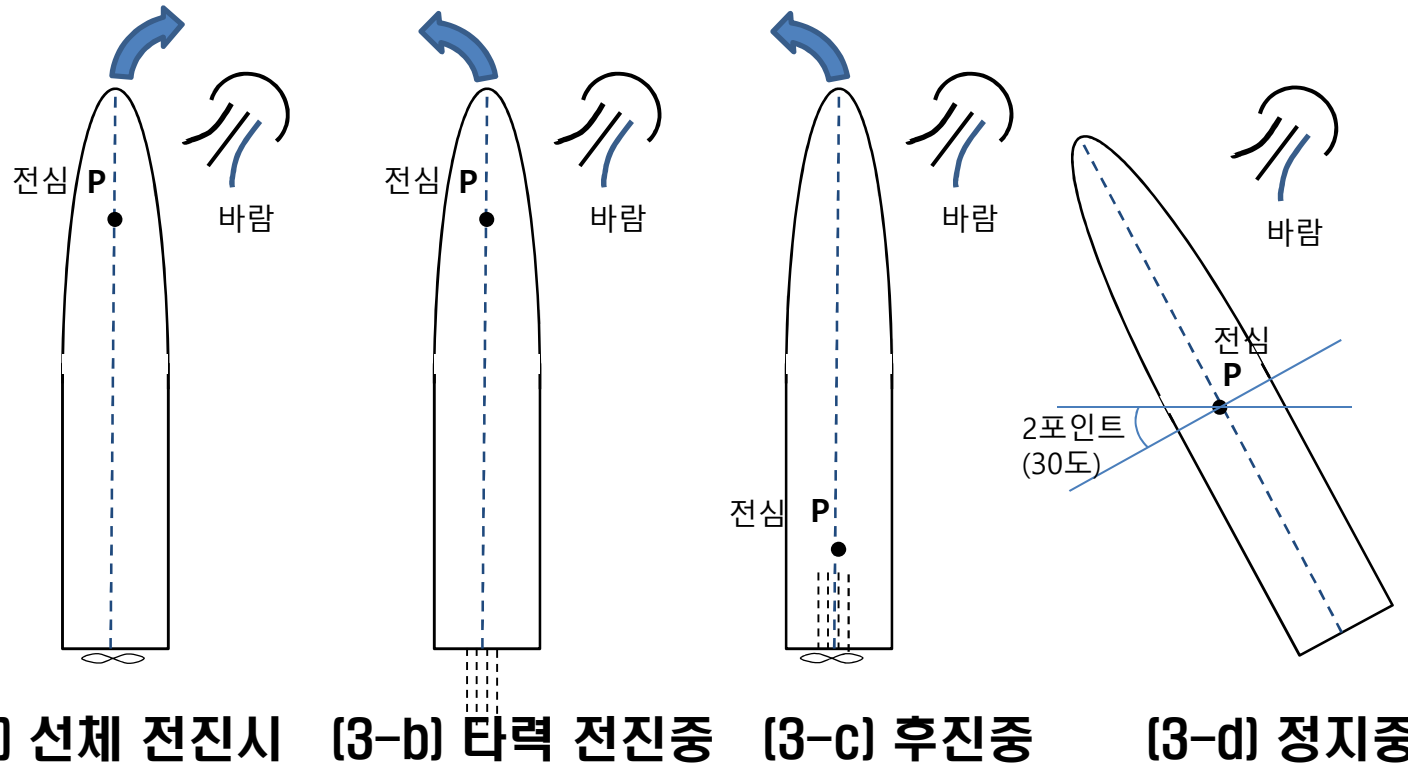
[그림 2-a] 이풍성



[그림 2-b] 향풍성

2. 도선의 주요 요소

행각의 영향



[영향의 정도]

- 풍압에 의한 선체 압류는 행각이 클수록 적어진다.
- 풍압에 의한 압류는 조류와 같이 즉각적인 것이 아니고 서서히 압류속도를 증가시킨다.
- 바람이 숨을 쉰다.[강약이 있다.]
- 조류는 선체의 압류에 영향을 주고 바람은 회두에 영향을 준다.

2. 도선의 주요 요소

2.2.2 조류의 영향

- 조류의 영향은 바람처럼 선수를 전후좌우로 진회(振回)시키지 않는다.
- 조류를 역행할 때에는 타효가 향상되고(적당히 증속하여 타효를 개선할 수 있다.) 순조 진행시는 타효가 적음에 주의한다.
- 조류는 선체를 전체적으로 압류는 시키지만 선수 편향의 현상은 거의 없다.
- 조류 예측은 다만 예측에 불과하며 **조류에 대하여서는 항상 상당한 여분**을 갖도록 해야 한다.
- 선박에 대한 조류의 영향은 선속이 감소될 때 증가한다.

2. 도선의 주요 요소

2.2.3 항내 조선에서 풍조의 영향을 최대한 이용하는 방법

- 풍조를 최대한 이용할 수 있도록 한다.
- 선수를 가능한 한 풍조를 향하도록 노력한다.
- 풍조에 의한 압류를 고려하여 미리 풍조 하에 충분한 여지를 확보한다.
- 앵커의 이용을 주저하지 말 것이며 앵커를 투하 후에 행각이 멈추면 선수가 풍조 방향으로 향하는 것을 명심하여야 한다.
- 공선시에는 풍조류의 영향이 모두 크지만 만선시에는 바람의 영향은 적다.
- 압류의 감지를 행할 때 전방목표 뿐만 아니라 후방 목표에도 주의한다.
- 풍조에 의한 압류를 수정할 때는 그 시기를 놓치지 말고 조기에 과감하고 크게 실시하고 주의 깊게 결과를 살핀다. 이 때 기관과 타는 크게, 단시간 사용하는 것이 효과적이다.

2. 도선의 주요 요소

2.3 선박 상태

1) 흘수

- 흘수가 깊을수록 선박의 움직임이 느리다.

2) 기관의 특성

- 프로펠러의 형태(CPP, FPP), 프로펠러의 수(단추진기, 쌍추진기) 프로펠러의 회전 방향(우선회, 좌선회)에 따라 조종 성능이 달라진다.
- 기관 후진시 측압작용에 의한 회두 방향이 반대가 된다. 우선회 FPP선은 후진 시 선수 우회두 하나 우선회 CPP선은 후진시 좌회두 한다.

3) 마력의 크기

- 마력이 작은 선박은 후진 기관사용 시 정지거리가 길어진다. 첫 시동이 25초까지 걸리는 선박도 있다.

2. 도선의 주요 요소

2.4 횡추진기 (Thruster)

- Bow thruster(B/T)와 Stern thruster(S/T) 등이 있으며 B/T의 크기는 통상 선박 총톤수(G/T)의 5% 이내이다.
- 안벽 전면에서 계류 로프가 말려들지 않도록 선수미요원의 B/T,propeller clear후 사용토록 한다.
- 접안 전 여유 공간에서 테스트 해서 게이지 등 정상 작동 여부를 확인한다.
- 유효 선속은 3 ~ 4 kts 까지이며 6 kt 이상에서는 효율이 없다.
- 풍력은 뷰포트 풍력계급(Beaufort scale) 3까지 유효하고 10 m/sec 이상은 무리이다.
- 장시간 계속해서는 사용을 못하는 것이 있다.
- 정격 출력이 나지 않는 수가 있다(통상 85% 이하로 설정함).
- 갑작스럽게 출력을 올리면 발전기 과부하로 정전(Black out)이 될 수 있다.
- 선수, 선미 횡추진기가 있더라도 기관 고장 시 비상 타력 제어가 불가능하므로 **반드시 한 척 이상의 예선을 수배**한다.
- 정전(Blackout) 시에는 전원이 없어 아무런 기기를 작동할 수 없으나 타기만 고장 시에는 조타기 대신에 B/T로 수리 시까지 긴급 조치를 취할 수 있으므로 입항 시는 물론 출항 시에도 방파제 통과 시까지 B/T 스탠바이(S/BY) 상태를 유지해야 한다.

2. 도선의 주요 요소

2.5 예항력 (Bollard pull)

1) 예항력

- 예선을 육상의 볼라드(Bollard) 또는 비트(Bitt)에 로프로 연결하고 기관을 전속 발동시에 로프에 걸리는 인장력을 예항력이라고 한다.
- 예선은 추진기의 종류에 따라 발휘되는 힘이 각각 다르나 평균하여 공칭 마력 100 ps당 1 ton으로 한다.

2) 예항력에 미치는 본선 선속의 영향

- 본선이 정지 시에는 예항력이 모두 본선에만 작용하지만 본선 속력이 있을 때는 예선 자체의 운동이 수반하는 저항의 증가분만큼 예항력을 잃게 된다.
- 예항력은 선속의 증가에 따라 감소하며 본선속력 5 ~ 7 kts에서는 0이 된다.

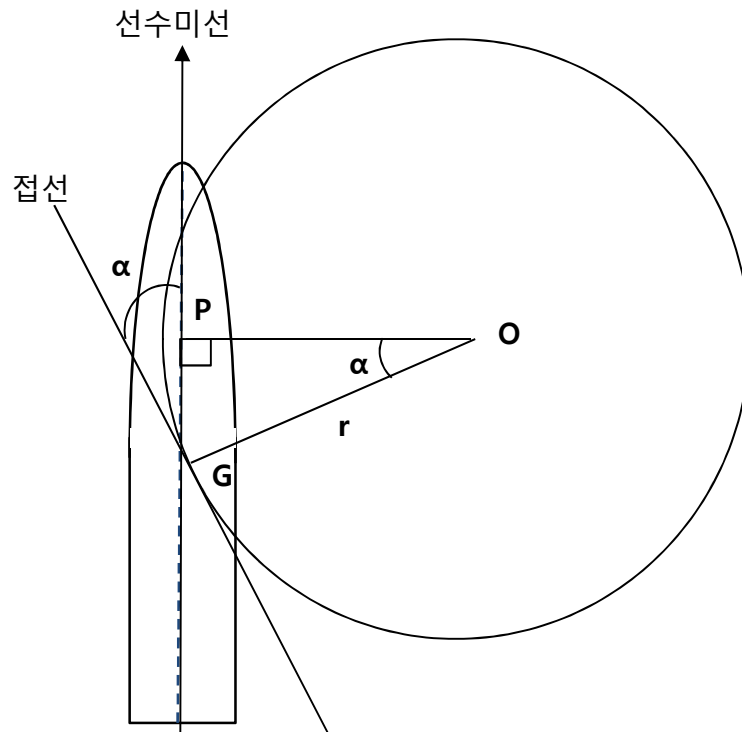
3) 예선 선속의 제한

- **[예선 접근 가능한 선속 제한]** 통상 7 kts에서 접근하나 필요시 10kts까지도 접근하여 Tug fast 가능
- **[예선 사용목적에 따른 선속 제한]** 미는 예선 3 kts, 당기는 예선 5 kts, 선미 예선은 6 kts

2. 도선의 주요 요소

2.6 전심

- 선회중에 선회권의 중심으로부터 선수미선에 내린 수선의 교점을 전심(轉心, Pivoting point)이라 한다.



[그림 4] 선체 회전과 편각

$\angle GOP = \alpha$, 반경을 r 이라 하면

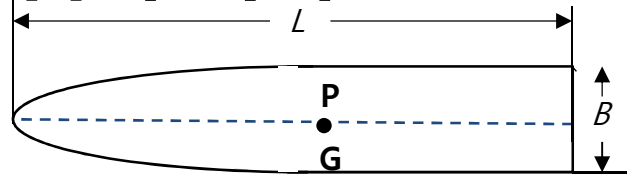
$$\sin \alpha = \frac{GP}{r}$$

$$GP = r \cdot \sin \alpha$$

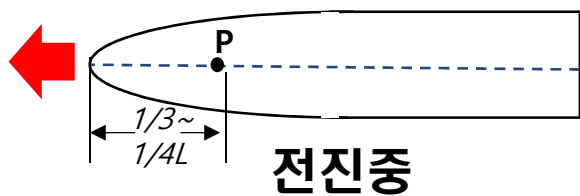
이와 같이 편각이 크면 PG도 크며, PG와 편각은 '선회성' 과 같은 표현이라 할 수 있다.

2. 도선의 주요 요소

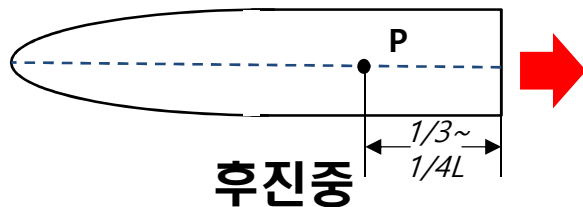
전심의 위치



정지중



전진중



후진중



예선 사용중

[그림 5] 전심의 위치

- 정지중의 전심은 G점이다.
- 선체가 전진 속도를 가지고 선회하는 경우에는(예선 없이) 타압으로 인한 비회두 현상으로의 압류와 원심력의 작용 때문에 전심의 위치는 선수로부터 $[1/3 \sim 1/4]L$ 후방에 있게 된다.
- 후진중은 선미로부터 $[1/3 \sim 1/4]L$ 전방에 있게 된다.
- 정지중인 선박을 선수나 선미 어느 한 쪽에서만 예선을 이용해 밀거나 당기면 전심은 예인 작용점(Tug point)에서 $2/3L$ 만큼 예선의 위치에서 반대쪽에 있게 된다.

2. 도선의 주요 요소

2.7 타효

1) 타압의 크기

- 타압의 크기(직압력의 크기)를 나타내는 일반식은 다음과 같다

$$P_n = \frac{1}{64} \times A \times V^2 \times \sin \alpha$$

(V: 타를 지나는 유속, α : 타각, A; 타면적)

2) 타효를 크게 하는 방법

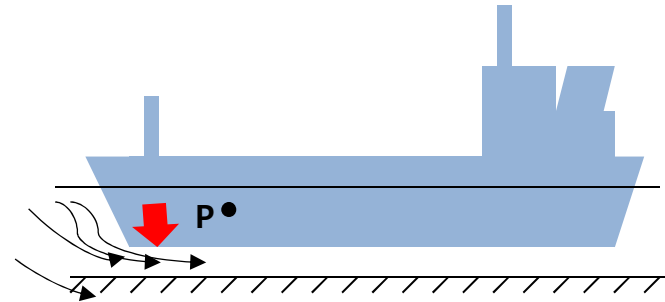
- 타각을 크게 한다.
- 기관 사용을 크게 한다.
- 킥어헤드엔진(Kick ahead)는 타력은 변동시키지 않으며 타효만 순간적으로 증대시키는 유용한 방법이다.

2. 도선의 주요 요소

2.8 천수

2.8.1 천수의 영향

- 1) 선체의 침하 및 흘수의 증대
- 2) 선속의 감소
- 3) 타효의 저하
- 4) 부가질량 및 부가관성능률의 증가
- 5) 침로 안정성의 향상과 선회성 저하
- 6) 천수에서 트림의 변화
- 7) 선체에 진동이 발생한다.



[그림 6] 천수의 영향

천수의 영향이 나타나는 수심

- (1) 선속에 대한 영향
 - 고속선은 10d(흘수), 저속선은 4d
- (2) 조종성에 대한 영향
 - 2.5d : 영향이 나타나기 시작 [선회경이 10% 증가]
 - 1.5d : 영향이 육감적으로 느껴짐
 - 1.25d : 선회경이 2배로 증가
- (3) 수로폭에 대한 영향
 - 2L : 수로폭의 영향 나타남
 - 1L : 수로폭의 영향을 육감으로 느낌

2. 도선의 주요 요소

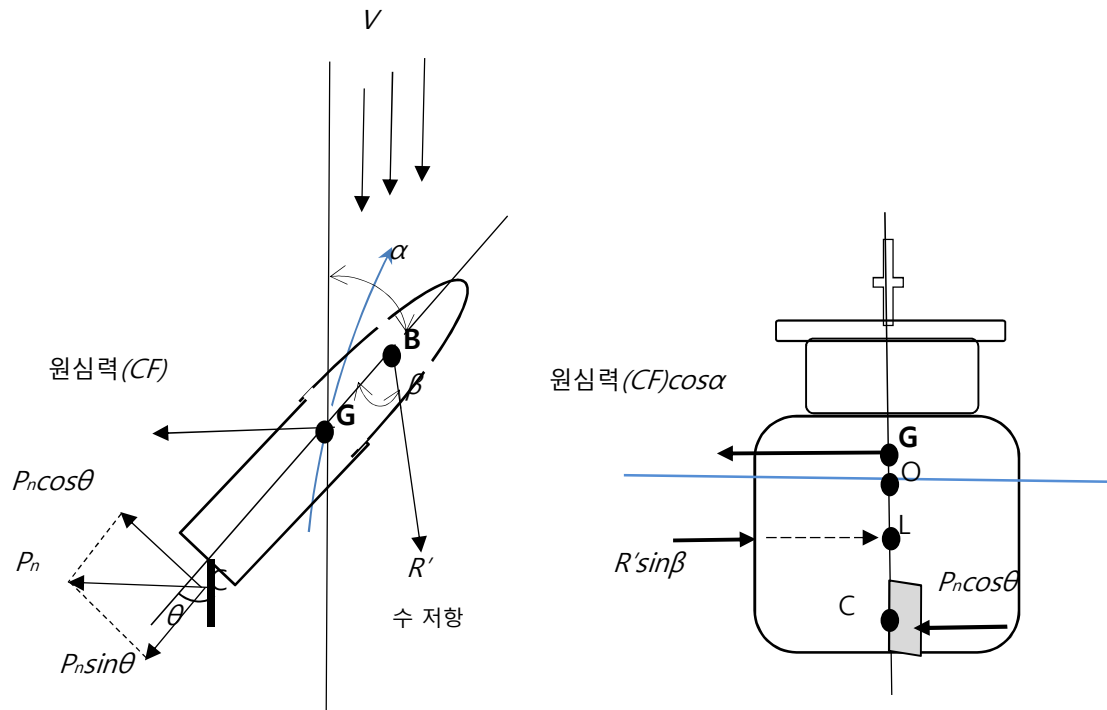
2.8.2 천수 영향에 대한 대책

- 천수역 통항에 필요한 여유 수심을 확보한다.
- 저속 항행을 한다.
- 가능한 고조시에 천수역을 항과 하여야 한다.
- 배수량 3만 톤이 넘고 여유수심이 1.5m 이하이면 충분한 예선을 준비하여야 한다.
- Swell, Heeling 및 선체의 동요로 인한 흘수의 증가를 고려한다.
- 변침시에는 수 회의 소각도로 나누어서 행한다.
- 저속 항행중에 보침 또는 선회성의 개선을 위하여 잠시 기관을 Kick ahead로 하는 것도 방법의 한가지이나, Gather way되지 않도록 주의가 필요하다.

2. 도선의 주요 요소

2.9 선회 운동과 선체 경사

2.9.1 선체의 회전 운동



[그림 7] 선체의 회전 운동

2. 도선의 주요 요소

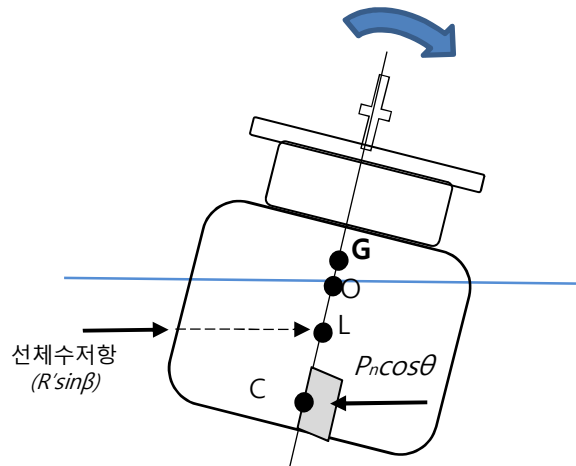
2.9.2 선회권 중심의 궤도 운동

- 선박이 항주중에 타각을 주어 회전 모멘트가 형성되면 순간적으로 선 수미선을 진행방향에 대하여 편각(α)만큼 돌려 놓는다.
- 이 때 선체 타판에 생기는 선체양력(F_r)은 원운동에 필요한 구심가속도를 형성하고, 선체항력(F_d)은 선속을 감속시킨다

2. 도선의 주요 요소

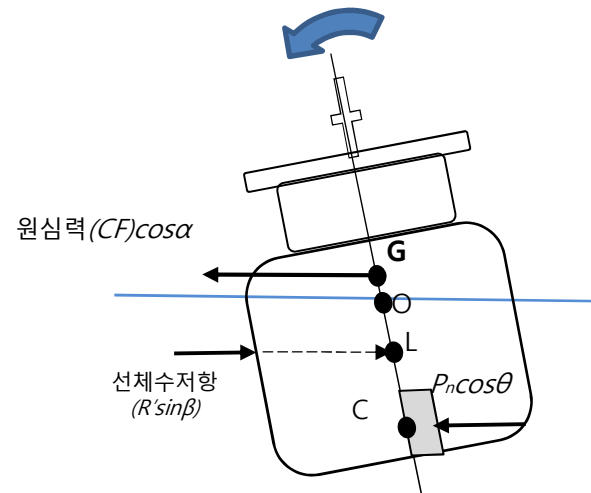
2.9.3 선회 운동의 3단계와 선체 경사

1단계: 내방경사



[그림 8-a] 내방 경사

2단계: 외방경사



[그림 8-b] 외방 경사

3단계: 정상선회(말기 횡경사)

- 회두 능력과 저항 능력이 평형을 이룬 뒤에는 선체가 일정한 원을 그리며 선회
- 선체 경사각은 선속의 2승에 비례하여 커지고, GM과 선회경(r)에 반비례

2. 도선의 주요 요소

$$\therefore \text{횡경사각 } \tan \theta = \frac{v^2 \cdot \overline{BG}}{g \cdot r \cdot \overline{GM}}$$

선회운동중 경사각의 특징

- ① 경사각은 선속의 2승에 비례한다. 따라서 복원력이 작은 배는 선회전에 먼저 선속을 줄여야 한다.
- ② 경사각은 선회반경에 반비례한다. 따라서 GM(복원력)이 작은 배는 타각을 많이 주어서는 안된다.
- ③ GM이 작으면 경사각은 커진다.
- ④ 회두중 급히 타를 중앙으로 하는 것도 GM이 적은 배에서는 위험하다.
- ⑤ 중심위치가 높으면 횡경사각이 커진다.

2. 도선의 주요 요소

2.10 변침점 계산

- 전타점으로 부터 원침로상에 있어서의 진출 거리를 말하며 보통은 90° (8 point) 선회시의 중심의 원침로상의 진출거리를 뜻한다.
- Advance는 추종성이 좋은 선박은 작고 나쁜 선박은 크다.
- 배수량(또는 흘수)이 크면 종거도 크다.
- 선체 길이가 긴 선박, 관성 능률이 큰 선박(중량물의 선수 · 미 편재), 선회경(Transfer)이 큰 선박 등은 종거도 크다.
- 종거는 일반적으로 3 ~ 4L 정도이다. (VLCC등 초대형선 선회경 \approx 2.5L)
- 선회 종거와 정상 선회경(Final diameter)은 크기가 비슷하며(3 ~ 4L), 선회경(Maximum transfer 또는 Tactical diameter, 4 ~ 5L)의 약 80 ~ 85% 정도가 된다.
- 선교에 부착되어 있는 Turning circle표의 Advance는 전타(35도) 선회시 진출거리이므로 10도 또는 15도 타각을 사용할 경우 선회경이 커지므로 이를 고려한다.

2. 도선의 주요 요소

2.11 거팅(Girting)

- 예방중 예선에 예선의 추진력 이상의 장력이 걸려서 장력의 방향이 예선의 선수·미선과 직각이 되면 전복의 위험이 있는 현상을 말한다.
- 이안 출항시에 예선이 본선의 선미에서 본선에 대하여 횡방향으로 끌 때에, 안벽을 떠난 후 예선을 let go하지 않고 또는 회두가 끝나기 전에 갑자기 본선이 전진 또는 후진을 거는 경우 타력이 생기면 위험하다. (예선 let go하지 않고 속도 증가)
- 본선의 타력이 과도할 때에 (보통 5 kts 이상) 본선의 선수나 선미에 예선을 잡고 본선을 대각도로 회두시키고자 할 때에 위험하다. (과도한 타력에서 선회 시도)
- 예선을 사용할 때에 본선에서 전속 전진 등의 큰 기관조작을 하면 배수류에 예선이 밀려서 행동의 자유를 상실하고 횡으로 끌리게 된다.

3. 접 · 이안 도선 작업 기본 요령

3.1 입항 자세 접안 기본 요령

1) 기본 원칙

- 기관 고장이나 횡추진기(B/T) 고장시 비상 투묘나 예선 등을 사용하여 타력을 잡을 수 있는 **안전 속력이나 횡이동 속도를 유지한다.**
- 예선이나 B/T에 의존하기보다는 본선의 기관, 타를 이용한 조선이 훨씬 효율적이다.
- **바람 방향**은 부두의 브리지 마크 깃발, 앞뒤 접안 선박의 깃발, 연돌상 연기 방향 등으로 현장의 정보를 정확하게 판단하고, **선수 · 선미부 위치 파악**은 선수부는 B/T 사용시, 선미부는 엔진 사용시 Wave나오는 부분에 해당되는 본선 현측 구조물로 상당히 정확하게 파악할 수 있다.

3. 접 · 이안 도선 작업 기본 요령

2) 타각 및 기관 사용 요령

- 변침시 **타각은 10도**를 기본으로 사용하며 선회 각속도가 작을 경우 15도, 20도, 전타하며 선회 각속도를 크게 하며 반대로 선회 각속도가 클 경우 5도 또는 Midship시켜 선회 각속도를 적절히 줄인다.
- 부두 근처에서 기관 사용시 Dead slow astern, **최대 반속 후진**(Half astern)으로 배를 정선시킬 수 있는 타력을 유지한다.
- 부두에서 접안직전 **1B 이내에서의 횡이동 속도는 0.2~0.3 kts** (10~15 cm/sec)가 적절하다.
- 접안 작업시 1단계로 1B 정도 떨어져 선교 위치를 맞추고 나서 횡이동 하여 안전하게 접안한다.
- 첫줄 나간 후 선교위치 조정을 위해 기관 사용시 3~5초의 단시간 기관 사용으로 선체의 움직임을 가능한 적게 하고 Spring line을 이용하여 위치를 조정한다.

3. 접 · 이안 도선 작업 기본 요령

3) 예선 사용

- 예선 사용시 예선 선장이 Order를 충분히 따를 수 있도록 준비의 여유 시간을 주고 선박의 움직임을 너무 크게 하지 않도록 한다
- 밀다가 당길 경우 Order 요령은 “**가만히 밀어 - 정지 - 끌 준비 -** (끌 준비가 되었다는 예선의 복창이 오면) **가만히 끌어 - 정지 - 밀 준비 -** (밀 준비 되었다는 복창이 오면) **가만히 밀어**” 순으로 한다.
- 선체의 횡이동 타력이 크면 다시 당겨서 타력을 줄여야 하는 번거로움이 생기므로 천천히 밀고, 정지, 밀고, 정지하여 미세한 타력으로 접안을 시도하면 오히려 신속하고 안전한 접안이 이루어진다.

3. 접 · 이안 도선 작업 기본 요령

4) CPP 선

- CPP선에서 기관을 정지하면 침로 유지가 잘 안되므로 미리 타력을 줄여 **부두 앞에서 3~4 kts를 유지**하며 Minimum ahead를 가능한 한 계속 사용하며 부두까지 접근한다.
 - Minimum Ahead를 부두 앞까지 그냥 사용하기 곤란하면 선미 예선을 Line tight나 Dead slow로 당기면서 계속 기관사용하면 최소 속력으로 조타하면서 부두 앞까지 진행이 가능하다.
- CPP 우선회 선박은 후진 기관 사용시 **선수가 좌회두** 됨을 유의한다.

3. 접 · 이안 도선 작업 기본 요령

3.2 출항 자세 접안(회두 접안) 요령

3.2.1 후진 접안

- 접안 선석 2~3L 전에 부두까지 횡거리 1L이상 유지한 상태에서 3~4 kts의 속력을 유지하고 회두를 시작하며, 만약의 경우를 대비하여 안전하게 **부두 반대쪽 현측으로 회두**한다.
 - 2 kts는 1 m/sec로 2분이면 선체가 120m를 이동한다.
- 회두 후 90° 각도를 돌고난 후 타력 감쇄를 위해 후진 기관을 사용하며, 타력 및 Vector 방향을 주의 깊게 관찰하여 접안선에 가까워지지 않도록 **후진 접근 각도를 대각도 진입**하다가, 선미가 1B 정도 접근시 B/T나 예선 까지 당겨서 부두 법선과 평행되도록 하며 접안한다.
- **후진 접근 속도는 2~3 kts로 유지**하며 후진 시에는 전심이 선미 1/3L 지점에 위치하므로 B/T를 사용하여 침로를 유지하면 효율적이다.[예선 사용시에는 선수예선을 이용한다]
- 부두에 너무 근접하면 조선이 곤란하고 위험하므로 **최소 1B 이상** 떨어져 선교위치를 조정하고 나서 횡이동 하여 접안을 완료한다.

3. 접 · 이안 도선 작업 기본 요령

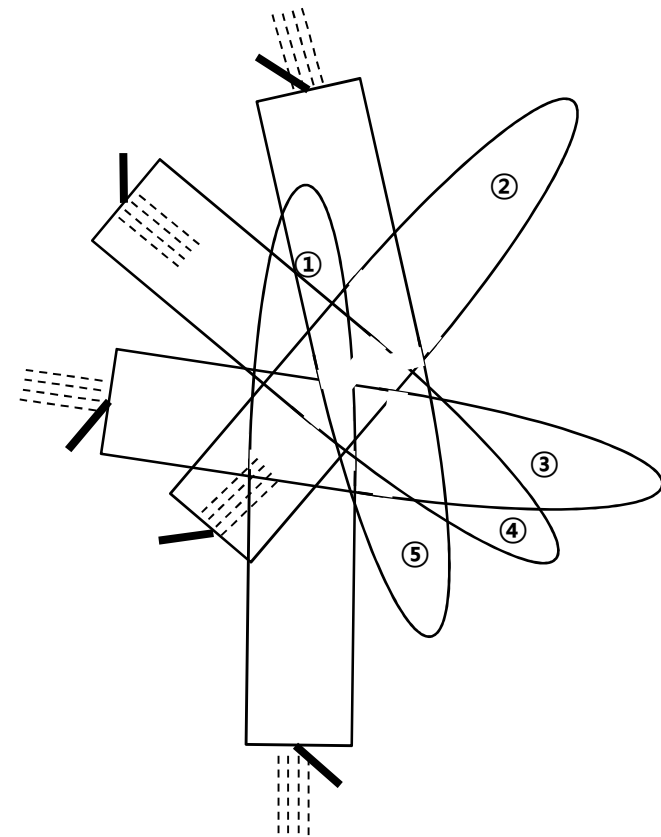
3.2.2 전진 접안

- 본선 선교가 부두의 선교 깃발을 지나고 나서 **2~3 kts의 속력**으로 본선 기관과 타, 예선 등을 사용하여 회두를 시작하며 타력이 과대한 상태로 부두를 향하지 않도록 미리 속력을 낮춘다.
- 길이 200m 이하의 선박의 경우는 여건상 부두 쪽으로 선회하기도 하는데 브리지 마크 통과 후부터 부두까지 횡거리(2L 이상)를 감안하여 반드시 더 감속하고 극미속으로 선회하여 예각으로 전진하면서 접안한다.

3. 접 · 이안 도선 작업 기본 요령

3.3 제자리 회두법

- 가능한 한 **증속되지 않도록** 속력을 보면서 기관을 사용하는 것이 관건이다.
- 타와 주기관을 적절히 조작하여 협소한 수면에서 우선회 일축선을 180° 회두시키는 데는 우회두가 좌회두보다 용이하다.
- 후진 추력은 **전진 추력의 약 반이** 되므로 전진시는 반속(Half speed)으로 하고 후진시는 전속(Full speed)으로 하는 것이 타당하다.
- 필요한 경우에는 Short stay로 투묘하여 **앵커를 이용하며 회두** 하여야 한다.



[그림 9] 제자리 회두

감사합니다!



한국선장포럼