

# Section 001 선박의 종류 및 선형계수

## 1. 선박의 종류

### (1) 상선

- 여객선(Passenger ship) : 선박 안전법에 의하면 **13명 이상**의 여객을 수송하는 배. 여객의 안전과 분위기 조성을 위해 구명 설비 등 여러 장치가 완비되어있으며 객실이 흘수선보다 위에 위치하여 상부구조가 크다.
- 객화선(Passenger and Cargo ship) : 여객과 화물을 수송을 함께하는 배
- 일반화물선(General cargo ship) : 화물을 수송하는 배로서 그 중 보통의 크기, 중량의 화물이나 포장되어 있는 일반 화물만을 운송하는 배. 정기선(Liner)과 부정기선(Tramper)이 있다. 대부분 **횡늑골 구조**의 화물선으로 되어있으며 하역설비도 일반적으로 갖추고 있다. (횡늑골 구조 : 격벽이 화물을 쌓을 수 있도록 가로로 설치된 구조)
- 전용화물선(Special cargo ship) : 특정 화물만을 전문으로 운송하도록 만들어진 화물선으로서 수송하는 화물에 따라 각 각의 명칭이 붙여진다.
- 유조선(Oil tanker) : 원유 및 석유의 운반을 주목적으로 하는 선박. **종늑골 구조**를 하고 있다. 화물창은 종 격벽과 횡격벽으로 둘러싸인 탱크양식으로 되어 있으며 배관에 의해서 하역한다. 최근 화학제품이 다량으로 운반되고 있는 경향에 따라 화학제품운반선(Chemical tank carrier)이 출현하고 있다.
- VLCC(Very Large Crude Oil Carrier) & ULCC(Ultra Large Crude Oil Carrier) : 각각 재화중량 20만톤, 30만톤 이상의 대형 유조선을 말한다.
- 광석운반선(Ore carrier) : 광석을 전문으로 운송하는 선박이다. 광석은 비중이 크고 화물의 중심이 낮게 됨에 따라 동요 주기가 짧게 되어 위험하기 때문에 단면형상과 강도 면에서 특수한 형상으로 되어있다. 유조선을 겸한 광석유겸용선(Ore and oil carrier), 광석과 살물화물 및 유겸 용선(Ore, bulk and oil carrier ; OBO)이 있다.
- 살물운반선(bulk carrier) : 석탄, 광석, 곡물 등과 같은 살물을 포장하지 않고 최대의 화물중량을 운반하는 것을 목적으로 설계된 배를 말한다. 다양한 살물의 물동량에 맞추어 운송한다.
- LPG선(Liquified petroleum gas carrier) 및 LNG선(Liquified natural gas carrier)  
: LPG선은 부탄이나 프로판가스를 운반하는 선박으로서 선내에 액화가스 용기로 압력 탱크를 설치한 압력식과 저온 액화가스 용기를 설치한 냉동식이 있다. 고온 또는 저온을 유지하도록 차단 구조를 가진 LNG탱크를 설치한 배를 LNG선이라 한다.

- RO/RO선(Roll On/Roll Off) : 카페리가 발달한 형태로 본선의 선수와 선미, 또는 선측에 설비된 개구를 통하여 트럭이나 지게차 등으로 컨테이너를 적재하거나 하륙할 수 있도록 설계된 배를 말한다. 선미에 차량 통로인 스텐 램프(stern ramp)가 있다.
- 컨테이너선(Container carrier) : 주어진 선박의 형상구조 내와 갑판상 위에 최대의 컨테이너 수를 적재하여 수송하는 것을 목적으로 하는 선박으로 창구가 크므로 선체에 작용하는 비틀림강도에 유의하여 설계한다.
- LASH선 : 바지운반선의 한 종류로서 바지운반선은 바지선을 그대로 운반하는 선박을 말한다.

## (2) 작업선 및 군함

- 견인선(Tug boat) : 배 또는 띄목을 예인한 채로 운항하는 배를 말하며 소형에 비해 강력한 기관을 비치하고 있으며 인선장치를 갖추고 있다.
- 쇄빙선(ice breaker) : 얼음을 파괴하여 선로를 열어주는 배를 말한다.
- 군함(War ship) : 500톤 이상을 함, 500톤 이하를 정이라고하며 배수톤수를 사용한다.

## 2. 선형계수

### (1) 배수량구하기

SI단위계에서 배수량과 배수용적 사이의 관계는 다음과 같다.

배수량( $\Delta$ , ton) = 배수용적( $\nabla$ ) x 1.0 ( $m^3$ ) : 청수

배수량( $\Delta$ , ton) = 배수용적( $\nabla$ ) x 1.025 ( $m^3$ ) : 해수

### (2) 선형계수

- 방형계수(block coefficient) : 물속에 잠긴 선체의 **비만도**를 나타내며 선박의 형배수용적과 선체를 감싸고 있는 직육면체의 용적과의 비이다. 대략 0.5에서 0.9사이의 값을 가지며 해양조사선 또는 예인선의 경우 0.5, 화물선은 0.9정도의 값을 가진다. 직육면체형 바지(rectangular barge)는 1.0의 값을 가진다.

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T} \quad (L : \text{LWL or LBP}, B : \text{형폭}, T : \text{형흘수})$$

출제포인트 : 화물선의 경우 저속으로 화물을 많이 싣기 위해 방형계수가 큰 값을 가지며 쾌속선의 경우 주행 성능을 위해 날씬하게 설계되므로 작은 값을 가진다.

- 최대횡단면계수(Maximum section coefficient) : 선박의 길이 중 최대횡단면적( $A_x$ )와 그 횡단면을 감싸고 있는 직사각형의 면적과의 비이다.

$$C_x = \frac{A_x}{B \cdot T}$$

- 중앙단면계수(midship coefficient) : 최대횡단면적대신 선체 중앙에서의 횡단면적을 대입하면 된다. 대부분의 선박에서 이 두 계수의 값은 같다.
- 주형계수(prismatic coefficient) : 유체역학과 특별한 관계가 있으며 선박의 배수용적과 밀면이 최대횡단면이고 길이가 LBP 또는 LWL인 주상체의 용적과의 비를 나타낸다.

$$C_P = \frac{\nabla}{L \cdot A_x} = \frac{C_B}{C_x}$$

- 수선면계수 : LBP 또는 LWL과 형폭이 만드는 가상적인 직사각형 속에 수선면이 어느 정도 차있는가를 나타내는 계수이다.

$$C_\varphi = \frac{A_\varphi}{L \cdot B} \quad (\text{일반적으로 } A_w \text{는 설계흘수에서의 값이다.})$$

- 침수표면적 : 물과 접하고 있는 선체와 부가물의 표면의 면적을 말하며 마찰저항, 선체에 칠할 도료의 양 등을 추정할 때 사용된다.
- 길이/깊이비 : 구조설계시 유용
- 길이/폭비 : 조종성능 판정의 개략적인 척도, 클수록 속력과 조종성이 좋다.
- Froude Number :  $FN = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$

### 3. 기출문제

#### 2003 조선산업기사

1. 컨테이너선은 어느 종류의 선박에 속하는가?

가. 여객선 나. 어선 **다. 화물선** 라. 유조선

### 2003 조선산업기사

2. 여객 정원이 20명이고, 화물 수송을 함께 하는 선박은?

가. 여객선 나. 화객선 다. 화물선 라. 모선

### 2003 조선산업기사, 2006 조선산업기사

3. 군함의 크기를 나타내는 데 사용되는 톤수는?

가. 재화중량톤수 나. 배수톤수 다. 순톤수 라. 총톤수

### 2004 조선산업기사

4. 선속의 증가와 함께 날개에 가해지는 부양력에 의하여 선체가 수면으로부터 떠올라 고속으로 항주할 수 있는 선박은?

가. 도선 나. 수중익선 다. 수중작업선 라. 호버크라프트

### 2004 조선산업기사

5. 자항력이 없는 부선(barge)을 끌거나 내항에서 대형 선박을 끄는데 사용되는 선박은?

가. 도선 나. 예인선 다. 모터보트 라. 순시선

### 2004 조선기사

6. 선박 관계법상 여객선은 몇 명 이상의 여객을 태우는 배인가?

가. 5명 나. 6명 다. 13명 라. 20명

### 2006 조선산업기사

7. 대형 유조선 중 재화중량톤수가 30만톤 이상인 초대형 유조선을 일컫는 용어는?

가. LASH선 나. ULCC선 다. RO/RO선 라. OBO선

### 2009 조선기사

8. 다음 중 중늑골식 구조를 취하는 것이 가장 유리한 선종은?

가. 자동차 운반선 나. 유조선 다. 포장 화물선 라. 여객선

해설 : 중늑골식은 살물이나 원유에 적합한 구조이므로 유조선이 가장 알맞다.

2002 조선산업기사

9. 배의 선형계수 중 방형계수 0.75, 중앙횡단면계수 0.98일 때, 주형계수는?

가. 0.735 나. 0.765 다. 1.30 라. 1.73

해설 : 주형계수 = 방형계수 / 중앙횡단면계수 이므로 0.75 / 0.98 = 0.765 이다.

2003 조선산업기사

10. 길이가 130m, 폭이 16.5m, 평균 흘수가 8.5m, 해수에서의 배수중량이 15000 ton인 선박의 방형계수는?

(단, 해수의 비중은 1.025이다.)

가. 0.803 나. 0.692 다. 0.747 라. 0.826

해설 :  $C_B = \frac{\nabla}{1.025 \cdot L \cdot B \cdot T} = 0.803$

2003 조선기사

11. 길이가 55m, 폭이 13m, 흘수가 6m이고, 중앙횡단면계수가 0.8, 배수량이 3000톤인 선박의 주형계수는?

(단, 해수의 비중은 1.025이다.)

가. 0.792 나. 0.853 다. 0.874 라. 0.924

해설 :  $C_P = \frac{C_B}{C_x} = \frac{\nabla}{1.025 \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_x} = \frac{3000}{1.025 \cdot 55 \cdot 13 \cdot 6 \cdot 0.8} = 0.853$

2003 조선기사

12. 형배수량 65000ton, 길이 210m, 선폭 30m, 깊이 18m, 흘수 12m인 배가 있다. 방형계수로 보아 어느 배에 가장 가까운가?

가. 광석 운반선 나. 구축함 다. 고속 컨테이너선 라. 정기 여객선

해설 :  $C_B = \frac{\nabla}{1.025 \cdot L \cdot B \cdot T} = 0.839$ 이다. 따라서 방형계수가 상당히 크므로 화물을 싣는 배, 즉 광석 운반선이라고 할 수 있다.



2002 조선산업기사

18. 종식 구조양식을 주로 채용하는 선박은?

가. 여객선

나. 화물선

다. 유조선

라. 화객선

# Section 002 선박 진수 및 시운전

## 1. 선박진수

### (1) 진수의 종류

- 종진수 : 길이방향으로 활주시키는 방법으로 대개 선미진수를 택한다.
- 횡진수 : 종진수보다 경사가 급하고 위험도가 높아 좁은 하천 등의 불가피한 경우가 아니면 잘 사용되지 않는다.
- 대차식 진수 : 미끄럼 장치로 대차를 사용하는 방식으로 하중 용량이 적어 소형 선박에만 사용된다.
- 볼식 진수 : 미끄럼 장치로 볼을 사용하는 방식이다.

### (2) 부속 설비

- 포핏(poppet) : 선수미 부분에서 활주대와 선체의 거리가 커서 단순히 각목을 쌓아지지할 수 없는 곳에 브래킷을 붙이고 지주를 세워 지지하는 것을 말한다.
- 트리거 : 진수 전까지 진수대에서의 미끄럼을 방지하기 위해 설치되며 가볍게 벗겨질 수 있도록 되어 있다.
- 도그 쇼어(dog shore) : 트리거로 충분치 못할 때 이를 보완하기 위해 추가로 설치한다.

## 2. 계류시운전

해상시운전을 위한 준비시험으로서 그 목적은 주기관의 안전장치의 기능과 각 제어 위치에서의 자동제어 및 원격제어의 기능을 확인하는 것이다. 이를 위해서 선박이 움직이는 것을 멈추는 설비가 필요하다.

### 3. 해상시운전

주기관을 포함한 보조기계들의 기계적·경제적 성능시험과 조수 발생장치 시험, 계류시운전에서 시험하지 못한 각종 기기류의 시운전이 해상에서 실시된다.

#### (1) 주기관의 시동시험

- ① 주기의 운전시험(체중속력, 내항, 최저속력시험) ② 배기가스 이코노마이저 시험
- ③ 청수발생장치 운전시험 ④ 비틀림진동 계측시험 ⑤ 연료소비량 계측시험
- ⑥ 보일러 전력항주시험 ⑦ 항해 중의 하역 펌프 시험
- ⑧ 주기관, 보일러 및 발전장치 및 기타 보기의 자동 제어 및 원격제어장치 확인시험

#### (2) 선체부의 시험

- ① 조종성시험(선회, 전·후진, 타력) ② 선체진동 계측 ③ 소음레벨 측정시험
- ④ 투양묘시험 ⑤ 조타기 시험 ⑥ 벨러스트 시스템과 펌프용량확인시험
- ⑦ 비상 조타기 시험 ⑧ 기타 시험

### 4. 기출문제

#### 2003 조선기사

1. 세로 진수대에서 진수 전 배의 미끄러짐을 저지하기 위해 트리거(trigger)를 설치하는데 이것만으로는 충분치 못하여 이를 보완하기 위해 추가로 설치하는 것은?

가. 포핏(poppet) 나. 스프링 버퍼(spring buffer)

다. **도그 쇼어(dog shore)** 라. 헤리컬 기어(helical gear)

해설 : 헤리컬 기어는 감속기어의 한 종류이다.

#### 2004 조선기사

2. 다음 중 시운전 속도 정의와 직접적인 관련이 가장 적은 것은?

가. 잔잔한 해상 상태(calm sea) 나. 깨끗한 선체 표면(clean bottom)

다. 시운전 배수량 및 트림 라. **상용 마력**

해설 : 상용 마력은 항해 속력을 얻기 위해 상용하는 마력으로 기관의 효율과 부품의 소모 등 보수의 견지에서 가장 경제적인 출력을 말한다.

### 2009 조선기사

3. 다음 중 해상시운전을 할 때 실시하는 시험이 아닌 것은?

가. 타력시험    나. 주기관 성능시험    다. 조종성시험    라. 비상조타기시험

해설 : 주기관 성능시험은 공장 시험의 한 단계이다.

### 2009 조선기사

4. 다음 중 선체의 선수쪽을 육지로 향하게 하고 선미쪽을 먼저 진수시키는 방법을 무엇이라 하는가?

가. 종진수    나. 볼식 진수    다. 횡진수    라. 대차식 진수

### 2004 조선산업기사

5. 소규모 조선소에서 진수와 상가에 쓰이는 경사선대 진수대는?

가. 롤러식    나. 대차식    다. 볼식    라. 수지식

### 2002 조선산업기사

6. 경사선대에서 선박을 진수할 경우 진수계산 항목이 아닌 것은?

가. 선미부양까지의 활주거리  
나. 포핏에 작용하는 압력  
다. 진수 후의 흘수  
라. 자유부양 후의 선박 속도

### 2006 조선산업기사

7. 선박 진수방법 중 소형조선소에서 널리 행하는 방식으로 선대에 부설된 레일 위를 활주하도록 한 강제 대차 위에 선박을 건조하여 진수하는 방법은?

가. 볼진수    나. 대차식 진수    다. 도크진수    라. 롤러 진수

## Section 003 선체 운동 및 동요감쇄장치

### 1. 선체 운동

#### (1) 6가지의 자유도운동

- 회전운동 : 횡동요(rolling), 종동요(pitching), 선수동요(yawing)
- 병진운동 : 상하동요(heaving), 전후동요(surging), 좌우동요(swaying)

#### (2) 횡동요

주로 횡파에 의해 일어나며 바람, 화물의 이동, 타에 의해 발생하기도 한다. 진폭이 최대일 때 관성력도 최대가 되며 뱃멀미와도 가장 관련이 깊다.

#### (3) 선수동요

바지(barge)와 같은 선박이 예인될 때 자주 발생하며 긴 예인선에 의해 예인되는 선박의 선수나 선미부에 파도가 부딪히면 선수각이 항로로부터 벗어나게 되는데 예인선의 장력 때문에 선수각이 계속 커지지 못하고 일정한 각변위의 선수동요를 하게 된다. 이 때 예인선(tug boat)에는 예인선의 중심선과 다른 방향의 장력을 받으므로 전복의 위험이 있다

#### (4) 공진

선박의 고유 동요주기와 같은 진동수의 외력을 지속적으로 받는 현상을 말하며 동요 진폭이 증가하고 극한 상황에서는 전복될 수도 있다. 하지만 실제 해상에서 그러한 파를 만나기는 힘들며 여러 감쇄력이 있어 계속해서 진폭이 증가하지는 않는다.

#### (5) 슬래밍(slamming) 현상

종동요시 선수부 바닥이 수면위로 상승하였다가 다음 순간 내려가면서 부딪히는 현상으로 파손을 입기도 하며 선미부에 슬래밍 현상이 발생하면 프로펠러의 일부 또는 전체가 수면 밖으로 나와 부하가 적게 걸리게 되며 추진기관이 과속으로 회전하게 되어 손상을 입을 수 있다.

#### (6) 브로칭(broaching) 현상

선미파를 받으면서 항해하는 선박에 선수동요가 발생해 선수각이 점점 증가하는 현상을 말하며 심할 경우 전복될 수 있다.

## 2. 동요감쇄장치

### (1) 발지용골(bilge keel)

횡동요 감쇄장치의 하나로 횡동요 시 상당한 양의 물을 밀쳐내야 하고 뒤쪽으로는 와류를 발생시켜 횡동요를 억제하게 된다. 선저만곡부에 배 길이의 1/3정도로 붙인다.

### (2) 감요수조(antiroll tank)

횡동요 감쇄장치의 하나로 선박의 횡동요 고유주기와 감요수조 내 액체의 동요 주기가 같고 액체에 의한 모멘트가 파에 의한 강제 횡동요 모멘트와 반대방향으로 작용하도록 설계된다. 횡동요를 멈추게 할 수는 없지만 진폭을 줄이는 데는 효과적이다.

다만 중량이 많이 나가므로 그만큼 선박의 재화중량이 줄어들며 수동식 감요수조는 공진주기 이외의 주기에서는 오히려 횡동요 진폭을 늘릴 수도 있다.

### (3) 핀안정기(fin stabilizer)

횡동요 감쇄장치의 하나로 좌우현의 만곡부에 부착되어 있으며 센서의 압력에 의해 제어된다. 항주 시 핀이 회전하게 되면 낮은 쪽의 핀에서는 윗방향으로의 양력을, 높은 쪽의 핀은 아랫방향으로의 양력을 발생시키며 입거 또는 정박 시에 핀의 보호를 위해서 선체 내부로 들어갈 수 있도록 되어있다. 양력을 사용하므로 정지 시에는 거의 효과가 없다.

### (4) 스케그(skeg)

선수동요 감쇄장치의 하나로 무인 바지가 예인되는 경우 선미근처에 안전핀 한 쌍을 부착하여 선미트림을 주는 장치이다.

### (5) 기타 동요상쇄방법

- 횡동요 : 자이로 안정기

- 종동요

- ① 선저구배 : 활주형 고속정의 경우 선수부 부근에 30도의 선저구배를 준다.
- ② 폭이 넓고 선미부가 평평하면 종동요가 심하므로 선수부와 같이 날씬하게 설계한다.
- ③ 침로나 선속 또는 두 가지를 모두 변경시킨다.
- ④ 가벼운 화물은 선수부와 선미부에 싣고 무거운 화물은 선체중앙부에 싣는다.
- ⑤ 선수 또는 선미부에 붙이는 핀은 오히려 진동을 유발시켜 슬래밍의 피해를 받기 쉽다.

- 선수동요 : 선미트림(선박의 크기에 관계없이 선수동요를 줄일 수 있다.)

### 3. 기출문제

#### 2002 조선산업기사

1. 선박이 선체의 수직 중심선축을 중심으로 주기적인 회전 왕복 운동을 하는 것은?

가. 롤링(rolling) 나. 히빙(heaving) 다. 서징(surging) 라. 요잉(yawing)

#### 2003 조선기사

2. 파랑 중을 항해하는 선박의 종동요와 이에 따른 슬래밍의 피해를 줄일 수 있는 효과적인 방법이 아닌 것은?

가. 침로나 선속 또는 두 가지를 모두 변경  
나. 무거운 화물을 선체 중앙부에 이동  
다. 가급적 선수와 선미부를 날씬한 형상으로 설계  
라. 수평 핀을 선수 또는 선미부에 설치

#### 2004 조선기사

3. 빌지 킬(bilge keel)을 설치하는 경우 빌지 킬의 길이는 배 길이의 몇 % 정도인가?

가. 25~50% 나. 10~30% 다. 60~80% 라. 80~100%

#### 2004 조선기사

4. 선박 횡동요를 방지하기 위한 장치가 아닌 것은?

가. 사이드 드러스터(side thruster) 나. 빌지 킬(bilge keel)  
다. 감요수조(anti rolling tank) 라. 핀 안정기(fin stabilizer)

해설 : 사이드 드러스터는 선박의 선수 또는 선미의 물에 잠긴 선체의 가로 방향에 장착한 스크루 프로펠러를 회전시켜 추진력을 발생시킴으로서 선회력을 발생시키는 선회용 프로펠러(가로방향 프로펠러)이다.

#### 2006 조선산업기사

5. 다음 중 선박의 횡요 감쇄장치가 아닌 것은?

가. 만곡부 용골 나. 핀 안정기 다. 감요수조 라. 자이로 컴퍼스

해설 : 자이로 컴퍼스는 자이로의 원리를 이용한 나침반이다.

2009년 조선기사

6. 다음 중 주된 목적이 선박의 횡동요를 방지하기 위한 장치가 아닌 것은?

가. 발지용골 나. 안정핀 **다. 밸러스트 탱크** 라. 감요탱크

해설 : 밸러스트 탱크는 선박의 균형을 잡아주는 장치이다.

2009년 조선기사

7. 배가 항해할 때 선체 운동에 의해 선수 선저부가 수면을 강하게 내려치는 현상을 무엇이라 하는가?

가. 티핑(Tipping) 나. 해머링(Hammering) 다. 종동요(Pitching) **라. 슬래밍(Slamming)**

2004 조선산업기사

8. 발지 킬(bilge keel)이 부착되는 곳은?

**가. 만곡부 외판** 나. 선저외판 다. 선측외판 라. 내저판

2003 조선산업기사

9. 발지 용골(bilge keel)의 용도는?

가. 종강도 기여 **나. 횡요 감소** 다. 흡수 증대 라. 저항 감소

2006 조선산업기사

10. 발지 킬(bilge keel)을 잘못 설명한 것은?

가. 만곡부 외판의 외측에 부착한다.

**나. 선체 종각도를 담당하는 주요 부재이다.**

다. 폭은 200 ~ 400mm 정도이다.

라. 길이는 선체 중앙부 (1/3)L ~ (3/5)L 정도이다.

2006 조선산업기사

11. 선박의 측면에서 파도가 올 때 가장 문제가 되는 동요는?

가. 히빙(heaving) 나. 피칭(pitching) **다. 롤링(rolling)** 라. 서징(surging)

# Section 004 선박 법규 및 조종성능

## 1. 선박 법규

### (1) 국제조약기구

- ① IMO(Intergovernmental Maritime Organization) : 해난구조·항해시설·해상충돌 방지·해양 오염 방지 등의 전 지구적 문제해결을 위한 국제적 협력을 도모한다.
- ② ILO(International Labour Organization) : 노동 조건을 개선하고 노동자의 생활과 복지 향상, 노동조건의 국제적 기준 마련, 개발도상국의 원조활동 등을 한다.

### (2) 국제조약

- ① SOLAS : 승조원 및 여객의 생명을 보호하기 위한 각종 설비의 국제적 통일과 배의 안전 확보에 관한 조약이다.
- ② ICLL(=ILLC) : 만재흘수선에 제약을 두어 항상 규정된 건현을 확보함으로써 예비 부력을 확보하여 배와 인명의 안전을 보장하는 만재흘수선에 관한 조약이다.
- ③ MARPOL(Marine Pollution) : 해양오염방지협약

## 2. 조종성능

### (1) 조타

타를 이용하여 선박의 침로를 유지하거나 기존 항로에서 벗어나 선회를 할 수 있다. 하지만 두 기능은 서로 상반되므로 설계자는 적정선에서 타협을 해야하며 대양을 횡단하는 상선이나 여객선은 침로 유지 능력을, 군함이나 예인선은 선회능력이 더 중요하다.

### (2) 선형

침로 유지능력(직선안정성)을 가지려면 가능한 한 큰 선미트림을 가져야하며 설계 시 선형을 날씬하게, 선미부에는 충분한 데드우드를, 선수부는 경사지게 하는 것이 좋다. 이러한 선형에서는 선수동요의 회전방향과 반대방향으로 동류역학에 의한 모멘트가 작용하여 직선항로로부터 벗어나는 것을 막아준다. 하지만 선회반지름은 상당히 커지게 된다.

### (3) 선회항적

타를 임의의 각(최대 35도)까지 회전시키면, 타에 좌현쪽으로 향하는 양력이 발생하여 잠깐 동안 선체가 좌현쪽으로 밀리지만 곧 타에서 발생한 양력으로 인해 우현쪽으로 밀리게 되며, 곧 정상선회를 하게 된다. 이 때 선수는 항상 항적의 내부에 위치한다.

(4) 사이드 드러스터(side thruster)

선박의 선수 또는 선미의 물에 잠긴 선체의 가로 방향에 장착한 스크루 프로펠러를 회전시켜 추진력을 발생시킴으로서 선회력을 발생시키는 선회용 프로펠러(가로방향 프로펠러)이다. 일반적으로 선수부에 설치하나 선미부 근처에 설치할 수도 있다.

### 3. 기출문제

#### 2002 조선산업기사

1. 선박의 타각 범위를 바르게 나타낸 것은?

가. 좌, 우현 35° 나. 좌, 우현 30° 다. 좌현 30° 우현 35° 라. 좌현 35° 우현 30°

#### 2002 조선산업기사

2. 선박으로부터의 해상 오염 방지를 위한 국제 협약은?

가. SOLAS 나. MARPOL 다. ILLC 라. KR

해설 : KR은 한국 선급을 말한다.

#### 2003 조선기사

3. 선박 운항 시 배를 회전시키는 경우 회전모멘트가 실제로 최대가 되는 타각은?

가. 45° 나. 20° 다. 15° 라. 35°

#### 2009 조선기사

4. 상선 등의 최대안전흘수를 규정하고 필요한 건현을 확보하도록 하는 내용의 국제협약은?

가. MARPOL 나. ILO 다. SOLAS 라. ICLL

#### 2004 조선기사

5. 다음 중 국제만제흘수선 규정에 따라 건현 결정 때 표정건현에 수정을 해야 하는 것은?

가. 폭 나. 주형계수 다. 흘수 라. 선루

2002 조선산업기사

6. 타(rudder)의 설치 시 타 트렁크(rudder trunk) 또는 갑판 관통부를 통한 해수의 침입을 막기 위해 패킹상자를 붙이는 데 이것의 명칭은?

가. 스테딩 박스(steading box)

나. 러더 스토퍼(rudder stopper)

다. 스테핑 박스(Stuffing box)

라. 점핑 스토퍼(jumping stopper)

# Section 005 선체 저항

## 1. 저항

- 마찰저항(frictional resistance,  $R_F$ )  
: 물과 선체표면과의 마찰에서 생기는 저항
- 조파저항(wave-making resistance,  $R_W$ )  
: 배가 항주함으로써 생기는 파도로 인한 저항
- 조와저항(eddy-making resistance,  $R_E$ )  
: 선체표면의 급격한 형상 변화 때문에 생기는 소용돌이로 인한 저항
- 잉여저항(residual resistance,  $R_R$ )  
: 조파저항 + 조와저항
- 점성저항(viscous resistance,  $R_V$ )  
: 유체의 점성 때문에 발생하는 저항, 평판의 마찰저항( $R_{FO}$ )과 형상저항( $R_{FORM}$ )으로 분류된다.
- 전저항(total resistance,  $R_T$ )
  - ① 종래(W. Froude)  $R_T = R_F + R_R + R_A$
  - ② 근래(G. Hughes)  $R_T = R_V + R_W + R_A$  (단,  $R_A$ 는 공기저항)
- 전저항 중 대부분은 마찰저항과 조파저항이 차지한다. 속력이 낮으면 마찰저항이, 속력이 높으면 조파저항이 큰 비율을 차지한다.

## 2. 마찰저항

배가 등속으로 항주할 때 선체의 표면에는 물의 점성에 의해 접선방향으로 마찰력이 작용하며 전저항의 큰 부분을 차지한다.

(1) Froude의 마찰저항 공식

$$\text{마찰저항계수 } C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2}\rho S V^2} \quad (S : \text{침수표면적}, V : \text{선속})$$

(2) 레이놀즈수  $R_n = \frac{VL}{\nu}$  ( $\nu$  : 물의 동점성계수)

### 3. 잉여저항

(1) 잉여저항의 계산  $R_R = R_T - R_F$

(2) Froude의 비교법칙

“기하학적으로 상사한 두 배의 Froude수가 같으면 두 배의 무차원화된 잉여저항계수  $C_R$ 은 같다.”

$$C_R = \frac{R_R}{\frac{1}{2}\rho S V^2}$$

(3) 대응속도

Froude의 비교법칙이 성립할 때 두 배의 Froude수가 같은데 이 때 Froude수를 같게 만드는 속도를 대응속도라고 하며 두 배의 속도는 길이의 비의 제곱에 비례한다.

$$L_1 : L_2 = V_1^2 : V_2^2$$

### 4. 그 밖의 저항

① 공기와 바람의 저항

② 선체부가물 저항

③ 천수 및 제한수로의 영향 : 수심이 얇은 천수(shallow water)에서는 동일한 속도에서 저항이 증가하는 천수영향을 받는다. 천수에서는 선체 밑으로 흐르는 물의 흐름이 제한되어 일부는 유속을 증대하여 통과하지만 나머지는 옆으로 더욱 멀리 돌아 2차원의 흐름에 가까워지며 이때 선체 주위의 속도 증가는 마찰저항을 증대시키고 조와저항 및 조파저항도 증가시키게 된다. 폭이 좁은 곳은 천수영향에 더불어 측벽의 영향까지도 받는다.

### 5. 기출문제

2003년 조선산업기사, 2003년 조선기사

1. 프루드(Froude)의 선박 저항 분류 방식에서 잉여저항은?

가. 조파저항 + 마찰저항    나. 조파저항 + 조와저항

다. 마찰저항 + 공기저항    라. 조파저항 + 공기저항

2003년 조선산업기사

2. 선박의 저항 종류 중 통상적으로 선박의 속도가 증가할수록 급격히 증가하는 저항은?

- 가. 조파저항 나. 마찰저항 다. 공기저항 라. 형상저항

해설 : 속도와 관련된 저항은 항주함으로써 일으키는 파도와 관련된 조파저항이다.

2002년 조선산업기사

3. 선박의 저항에 관한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 마찰저항은 속도가 느릴수록 크다.
- 나. 잉여저항은 조파저항과 조와저항 등의 합이다.
- 다. 조파저항은 속도가 빠를수록 작다.
- 라. 조와저항은 공기저항이다.

2004년 조선산업기사

4. 선박에서 발생하는 저항 중 선체표면의 급격한 형상변화 때문에 발생하는 소용돌이로 인한 저항은?

- 가. 마찰저항 나. 조파저항 다. 조와저항 라. 잉여저항

2004년 조선산업기사

5. 저속선에서 가장 큰 비중을 차지하는 저항은?

- 가. 조파저항 나. 조와저항 다. 마찰저항 라. 공기저항

2002년 조선산업기사

6. 다음 괄호 속에 들어갈 알맞은 말은?

“기하학적으로 상사한 두 배의 ( )가 같으면 두 배의 무차원화된 ( )는 서로 같다.”

- 가. 레이놀드수, 마찰저항계수 나. 레이놀드수, 잉여저항계수
- 다. 프루드수, 마찰저항계수 라. 프루드수, 잉여저항계수

2003년 조선산업기사

7. 선박이 하천, 운하 등 수심이 얇은 곳을 지나갈 때 저항이 증가하는데 이것을 무엇이라 하는가?

- 가. 조와저항 증가현상 나. 와류 현상 다. 천수영향 라. 거칠기 영향

**2004년 조선기사**

8. 모형선을 예인수조에서 실선의 대응속도로 예인하는 것은 실선과 모형선 사이에 어떤 저항을 비례관계로 만들어 주기 위해서인가?

가. 총저항 나. 마찰저항 **다. 잉여저항** 라. 조와저항

**2004년 조선기사**

9. 길이 200m, 속도 14.0knots인 실선과 기하학적으로 상사한 모형선을 수조시험하려고 한다. 모형선의 속도를 3.5knots로 할 때 모형선의 길이는?

가. 11.0m **나. 12.5** 다. 14.0m 라. 16.0m

해설 :  $L_1 : L_2 = V_1^2 : V_2^2$  에서  $200 : x = 14^2 : 3.5^2 = 16 : 1$  이므로  $x = 12.5$ 이다.

**2003년 조선기사, 2009년 조선기사**

10. 실선의 길이가 169m, 선속이 10knot이고, 상사 모형선의 길이가 4m일 때 수조에서 예인하는 모형선의 대응 속도는? (단, 1knot는 0.5144m/s이다.)

가. 약 0.7m/s **나. 약 0.8m/s** 다. 약 0.9m/s 라. 약 1.0m/s

해설 :  $L_1 : L_2 = V_1^2 : V_2^2$  에서  $169 : 4 = 10^2 : x^2$ 이며 양변에 루트를 씌우면  $13 : 2 = 10 : x$ 가 되어  $x = \frac{20}{13} \text{knot} = 0.79 \text{m/s}$ 가 된다.

# Section 006 배수량 계산

## 1. 중량과 톤수

- 배수중량(displacement) : 배가 정수에 떠서 평형을 이룰 때 배가 밀어낸 물의 중량으로 수선 밑 배의 용적(배수용적)과 물의 비중의 곱으로 나타냄
- 배수톤수(displacement tonnage) : 배수중량을 톤수로 나타낸 값
- 경화중량(light weight, LW) : 배의 자중, 즉 경하상태의 중량
- 재화중량(dead weight, DW) : 계획 만재흘수에서 배가 실을 수 있는 화물의 최대중량
- 만재배수량(full load displacement) : 계획 만재흘수에서 배가 밀어내는 해수의 중량
- 부가물배수량(appendage displacement) : 외판, 발지킬, 키 등이 밀어내는 해수의 중량
- 형배수량(moulded displacement) : 배수량에서 부가물 배수량을 제외한 중량(moulded line 안쪽 배수량)
- 순톤수(net tonnage, NT) : 총톤수로부터 배의 운항에 필요한 공간의 용적을  $100ft^3$ 당 1톤으로 환산한 값을 공제한 톤수이며, 여객이나 화물을 실을 수 있는 공간의 용적톤수
- 총톤수(gross tonnage, GT) : 측도갑판의 아랫부분 용적에 측도갑판보다 위의 둘러막힌 공간의 용적을 더하고  $100ft^3$ 을 1톤으로 하여 톤수로 나타낸 것
- 측도갑판(tonnage deck) : 갑판이 2층 이하인 배는 그 배의 상갑판을, 3층 이상인 배는 아래에서 2번째 갑판을 말한다.

## 2. 기출문제

### 2002 조선산업기사

1. 만재배수 톤수에서 경하배수 톤수를 뺀 값은?

가. 총 톤수   나. 순 톤수   다. 기준 배수 톤수   **라. 재화톤수**

해설 : 만재배수톤수는 경하배수톤수와 재화톤수의 합이므로 답은 재화톤수이다.

2003 조선산업기사

2. 선박의 톤수와 관련된 다음의 관계식 중 옳은 것은?

가. 재화중량 + 경하 배수량 = 만재 배수량

나. 재화중량 - 경하 배수량 = 만재 배수량

다. 경하 배수량 - 순톤수 = 만재 배수량

라. 재화중량 + 순톤수 = 만재 배수량

2009 조선기사

3. 다음 중 선박에 적재할 수 있는 최대한의 중량을 말하며 만재배수량과 경하배수량의 차를 나타내는 것은?

가. 배수톤수   나. 재화중량   다. 재화용량   라. 운하톤수

해설 : 용량은 부피를 말하므로 재화중량이 답이다.

2003 조선기사

4. 순수한 배 자체만의 무게를 나타내는 것은?

가. 만재 배수량   나. 경하 배수량   다. 재화 중량   라. 순톤수

2003 조선기사

5. 여객이나 화물의 운송용으로 제공되는 선박 내 장소로서 직접 수익을 얻는 데 사용되는 장소의 크기를 나타내는 용적 톤수는?

가. 총톤수   나. 순톤수   다. 배수톤수   라. 경하 배수량

# Section 007 선도와 선박 계산

## 1. 선도(lines)

### (1) 정면도(body plan)

선체의 중심면과 기면에 직각인 가상적인 절단면 위에 나타나는 형선체의 횡단면 형상을 나타낸다. 좌현(port)과 우현(starboard)이 대칭이므로 반쪽 단면만을 나타내며 선수부를 오른쪽에, 선미부를 왼쪽에 배치한다. 가상적인 절단면을 스테이션이라고 하며 선수방향에서 선미방향으로 일련번호를 매기고 시작은 0이다.

### (2) 반폭도(half-breadth plan)

기면과 평행하며 중심면과 직각을 이루는 가상적인 절단면에 나타난 형상을 수선 또는 수선면이라고 하는데 정면도와 마찬가지로 반쪽 형상만을 도시하며 반쪽 수선면의 형상을 그린 그림을 뜻한다.

### (3) 측면도(sheer plan 또는 profile)

중심면에 평행인 가상적 절단면에 나타난 형선을 측면선이라하며 이 측면선을 그린 그림을 뜻한다. 반폭도와 측면도에서는 선수부를 오른쪽에 배치하는 것이 일반적인 관례이다.

### (4) 선도(lines)

정면도와 측면도, 그리고 반폭도를 한평면위에 그린 것을 뜻한다. 정면도는 스테이션, 측면도는 측면선, 반폭도는 수선의 참형상을 보여주며 다른 그림(도면)에서는 위치만 표시한다.

### (5) 오프셋표(table of offsets)

중심면에서 수직하게 세운 종선을 따라 잴 거리, 즉 반폭을 오프셋이라고 하며 실제 길이는 반폭도와 정면도에 나타난다. 모든 스테이션과 모든 수선에서의 오프셋을 표시한 것을 오프셋표라고 한다.



### 3. 근사적분법

#### (1) 용적의 계산

횡단면적을 길이방향으로 적분하여 얻거나 수선면적을 높이방향으로 적분하여 얻거나 근사 적분법을 이용하여 구할 수 있다. 수선 하에서 용적을 구하면 곧 배수용적이 된다.

#### (2) 사다리꼴 법칙

곡선을 N등분하여 그 각각의 면적을 사다리꼴로 가정하여 합산하는 방식으로 계산이 간단하나 오차가 매우 크다.

#### (3) Simpson 제 1법칙

곡선을 N등분하여 2개씩 짝을 지은 후 세 종선을 지나는 2차 포물선으로 가정하고 구간을 적분하여 면적을 계산한 후 합산하는 방식으로 계산 후 나오는 가중값 1, 4, 1을 Simpson의 곱수라고 한다.

#### (4) Simpson 제 2법칙

Simpson 제 1법칙과 방식은 동일하며 3개씩 짝을 지은 후 네 종선을 지나는 3차 포물선으로 가정하여 구한다.

### 4. 기출문제

#### 2009 조선기사

1. 배수량  $W$ , 길이  $L$ , 폭  $B$ , 흘수  $d$ , 종경사각  $\theta$ , 종메타센터높이  $GM_L$ , 종메타센터반지름  $BM_L$ 이라 할 때, 센티미터당 트림모멘트(MTC)를 구하는 식으로 옳은 것은?

가.  $\frac{W \cdot GM_L}{100 \cdot L}$    나.  $\frac{W \cdot \tan\theta}{100 \cdot GM_L}$    다.  $\frac{W \cdot BM_L}{100 \cdot B}$    라.  $\frac{L \cdot B \cdot d \cdot \tan\theta}{100 \cdot BM_L}$

#### 2004 조선산업기사

2. 수선하의 횡단면적을 길이 방향으로 적분하거나 수선면적을 깊이 방향으로 적분하여 얻을 수 있는 것은?

가. 배수용적   나. 배수량   다. 톤수   라. 경하중량

### 2004 조선산업기사

3. 선박의 수선면 및 횡단면 형상의 곡선을 2차 포물선의 일부라고 가정하고 면적을 구하는 근사계산법칙은?

가. 사다리꼴 법칙 나. 심프슨 제 2법칙 다. 웨들 법칙 **라. 심프슨 제 1법칙**

### 2009 조선기사

4. 배수량등곡선도(Hydrostatic curves)에 나타나지 않는 것은?

가. 방형계수 나. 종메타센터 높이 다. 부심 위치 **라. 중심의 길이 방향 위치**

해설 : 등곡선도에 배수량이 나타나 있으므로 방형계수는 구할 수 있다.

### 2002 조선산업기사

5. 선도에서 수선면의 진형상은 어느 도면에 나타나는가?

가. 정면도 **나. 반폭도** 다. 측면도 라. 공사용 정면선도

### 2003 조선기사

6. 곡선부를 3차 포물선이라고 가정하고 근사법으로 면적을 계산할 때 가장 적합한 방법은?

가. 5·8·-1 법칙 나. 체비체프(Tchebycheff)의 법칙  
다. 심프슨 제 1법칙 **라. 심프슨 제 2법칙**

### 2004 조선기사

7. 강선에 있어서 선도에 표시되는 선체의 면은?

가. 외판의 외측면 **나. 외판의 내측면** 다. 늑골의 내측면 라. 갑판의 외측면

### 2009 조선기사

8. 다음 중 3차원 이상의 식으로 표현되는 임의의 곡선 하부의 면적을 구하고자 할 때 가장 정도(精度)가 좋은 방법은 어떤 법칙을 사용하였을 경우인가?

가. Simpson 제1법칙 나. 사다리꼴 법칙 **다. Simpson 제2법칙** 라. Tchebycheff 법칙

### 2009 조선기사

9. 다음 중 선체 수선(Water line)이 곡선으로 나타나는 도면은?

가. 정면도(body plan) 나. 측면도(Sheer plan)  
다. 도킹도(Docking plan) **라. 반폭도(Half-breadth plan)**

## Section 008 복원성과 트림

### 1. 메타센터

일반적인 선박에서 무게중심 위치(G)는 부심의 위치(B)보다 위에 있으며 횡경사를 시키게 되면 부심이 초기 위치로부터 부력이 증가한 쪽으로 이동하게 된다. 중량과 부력은 크기는 같고 서로 반대방향으로 작용하며  $\Delta$ 로 표시하는데 안정한 선박에서는 이 때 복원모멘트가 작용하게 된다. 이 경우 새로운 부심위치에서의 부력의 작용선이 초기 부력의 작용선과 만나는 점이 무게중심 위치보다 위 쪽에 놓이는데 이 교점을 메타센터(M)라고 한다.

메타센터가 무게중심보다 위에 있으면 양, 아래에 있으면 음으로 표현하며 무게중심과 메타센터 사이의 거리를 메타센터높이(GM)라고 한다.

#### (1) 복원모멘트

GM은 초기 횡복원성을 나타내는 지표인데 일반선박에서 횡경사각( $\phi$ )이  $10^\circ$ 보다 작으면 GM이 변하지 않는다고 간주하며 점점 크게 하면 초기에는 GM이 증가하다가 어느 순간부터 감소하며 결국 음의 값을 가져 전복하게 된다.

복원모멘트  $M_R$ 은

$$M_R = \Delta \cdot GM \cdot \sin\phi \text{로 나타낼 수 있다.}$$

#### (2) 메타센터 높이

- ① 기선으로부터 부심까지의 연직높이(KB)를 구한다. (선도 또는 오프셋표)
- ② 메타센터 반지름(BM)을 구한다. ( $BM = \frac{I}{\nabla}$ ,  $I$ : 중심선에 대한 수선면의 2차모멘트)
- ③ 무게중심의 연직높이(KG)를 구한다. (화물의 양과 위치에 따라 변하므로 추정값 사용)
- ④  $GM = KB + BM - KG$

#### (3) 경사시험

무게를 알고 있는 중량물(W)을 선박의 중심선으로부터 d만큼 가로로 이동시키며 횡경사 모멘트( $M_h$ )와 복원모멘트( $M_R$ )가 같아질 때 멈추게 된다. 이 때 횡경사각은 선내에 진자를 매단 후 길이와 추가 움직인 거리를 측정하여 구하면 된다. 중심의 위치와 메타센터높이를 구할 수 있다.

$$GM = \frac{W \cdot d}{\Delta \cdot \tan\phi}$$

- 자유표면효과 : 탱크 내 유동성 화물 또는 액체에 자유표면이 있을 경우 횡경사에 따라 경사진 쪽으로 쏠려서 무게중심 위치가 변하여 메타센터 높이에 영향을 주게 된다. 이 영향 때문에 메타센터 높이가 감소하므로 주의를 요하며 실제 선박에서는 길이방향으로 격벽을 설치하여 효과를 줄이는 경우도 많다.

## 2. 복원력

### (1) 정복원력곡선

횡경사 각도에 대한 복원모멘트를 그린 곡선이며 모든 경사각에서의 배수량이 일정하므로 복원모멘트 대신에 복원팔(GZ)을 사용하기도 한다. 경사각이 증가할수록 복원모멘트가 커지다가 갑판 모서리가 물에 잠기기시작하는 경사각 근처에서 최대값을 가지며 각도가 더 커지게 되면 감소하다가 결국 0이 되는데 이 때의 경사각을 복원력범위라고 한다.

### (2) 복원성 기준

메타센터 높이 값은 보통 폭의 0.6% 정도인데 GM값이 너무 작으면 복원력이 부족해질 수 있고 너무 크면 과대한 복원력 때문에 승선감을 해치게 된다. 따라서 선급협회에서는 GM의 최소 허용값을 규정해놓고 있다.

## 3. 흘수와 트림

### (1) 흘수

물건(중량물)을 추가로 실을 경우 흘수 증가량은  $\frac{\Delta}{\rho \cdot A_w}$  ( $A_w$  : 수선면적,  $\rho$  : 물의 비중)이 된다. 여기서 물의 비중의 단위는  $g/cm^3$ 이다.

### (2) 트림

배의 선수미의 흘수차를 말하며 선수트림은 선수, 선미트림은 선미의 흘수가 더 큰 경우를 말한다. 선수트림이 발생하게 되면 프로펠러가 수면에 노출되어 효율이 떨어지고 조타상으로 좋지 않으므로 부심의 위치를 선수방향으로 이동하거나 기관실 길이를 짧게 하여 화물 중심을 선미 쪽으로 이동시킨다.

## 4. 경두선과 중두선

배의 상부가 무거운 배를 중두선, 하부가 무거운 배를 경두선이라고 하며 복원력이 커서 복원주기가 짧아 승선감이 나쁘다.

## 5. 기출문제

### 2009 조선기사

1. 선박의 경사시험은 무엇을 알기 위해 실시하는가?

가. 복원력 범위 및 배수량

나. 중심 위치 및 메타센터높이

다. 부심 위치 및 부면심 위치

라. 경사 각도 및 복원력 소실각

### 2002 조선산업기사

2. 메타센터 높이(GM)를 계산하는 옳은 식은?

(단, KB:기선으로부터 부심까지의 연직높이, KG:기선으로부터 무게중심까지의 연직높이, BM:메타센터 반지름)

가.  $GM=KB-BM-KG$    나.  $GM=KB+BM-KG$    다.  $GM=KB-BM+KG$    라.  $GM=KB+BM+KG$

### 2002 조선산업기사

3. 선박의 경사시험을 하는 목적은 다음 중 무엇을 구하기 위해서인가?

가. 부면심 위치   나. 부심 위치   다. 중심 위치   라. 경심 위치

### 2002 조선산업기사

4. 배수량 100ton의 배에서 1ton의 중량물을 가로방향으로 4m 이동시켰을 때 길이 2m의 진자끝이 0.2m 이동하였다. 이 때 메타센터 높이 GM은?

가. 0.2m   나. 0.3m   다. 0.4m   라. 0.6m

해설 :  $GM = \frac{1 \cdot 4}{100 \cdot \frac{0.2}{20}} = 0.4$

### 2004 조선산업기사

5. 선박의 메타센터 반경(BM)에 관한 설명 중 틀린 것은?

- 가. 방형계수( $C_B$ )가 작을수록 크다.
- 나. 동일 선박에서 흘수가 작을수록 크다.
- 다. 동일 선박에서 만재흘수 상태일 때 가장 크다.
- 라. 오프 셋(off-sets)을 이용하여 구할 수 있다.

해설 :

- 가. 방형계수가 작으면 배수용적이 작으므로 분모가 작아져서 커진다.
- 나. 동일 선박에서 흘수가 작으면 배수용적이 작으므로 크다.
- 다. 동일 선박에서 만재흘수 상태는 흘수가 크므로 배수용적이 커져서 반지름은 작아진다.
- 라. 오프 셋에는 배수량에 관한 정보가 들어있으므로 배수용적을 구할 수 있다.

### 2003 조선기사

6. 선박의 내부에 자유표면(free surface)을 가지는 유동수(free water)가 있을 경우, 횡요 운동을 함에 따라 복원력은?

- 가. 증가한다 나. 영향이 없다 다. 감소한다 라. 일정치 않다

해설 : 유동수가 있으면 자유표면효과로 GM이 작아지는데 복원모멘트는 GM에 비례하므로 감소한다.

### 2003 조선기사

7. 배수량을 일정하게 하고 선폭을 증가시키면 복원력은?

- 가. 증가된다 나. 변동이 없다 다. 감소한다 라. 경우에 따라 다르다

해설 : 선폭이 증가하면 부심의 변위가 커져서 모멘트팔의 값이 커지므로 복원력이 증가하게 된다.

### 2003 조선기사

8. 선박의 폭을 증가시킬 때 증대되지 않는 것은?

- 가. 횡메타센터 반지름(BM) 나. 복원성 범위
- 다. 부심의 높이(KB) 라. 메타센터 높이(GM)

해설 : 폭이 증가하면 부심의 변위가 커지게 된다. 따라서 이전 부심과 이후 부심의 교점인 메타센터 높이는 커지게 되며 복원성 범위도 넓어진다. 또한  $BM = KG + GM - KB$ 로 나타낼 수 있는데 KG와 KB는 일정한데 GM이 커지므로 BM도 커지게 된다. KB는 폭과는 관계가 없으므로 변화하지 않는다.

### 2006 조선산업기사

9. 선박의 어떤 배수량에서 가로 경사각 변화에 대한 복원정 GZ변화 모양을 나타낸 곡선은?

가. 복원력 곡선 나. 본전 곡선 다. 배수량 곡선 라. 전단력 곡선

### 2004 조선기사

10. 현행 선박복원성규정 중에서 복원지수 C값에 영향을 주지 않는 항은?

- 가. 경사모멘트 곡선의 형상
- 나. 횡복원모멘트 곡선의 형상
- 다. 전진각 및 선속
- 라. 횡동요각 및 해수 유입각

해설 : 모멘트 및 횡동요는 모두 복원성에 영향을 주는 요인이지만 전진각이나 배의 속도는 복원성과는 관계가 없다.

### 2003 조선산업기사

11. 선박의 복원력에 관한 설명으로 잘못된 것은?

- 가. 선박의 무게 중심이 낮을수록 복원력은 크다.
- 나. 선박의 폭이 증가하면 복원력은 감소한다.
- 다. 일반적으로 세강상태에서는 복원력이 감소한다.
- 라. 탱크내의 자유수는 복원력을 감소시킨다.

해설 :

- 가. 무게 중심이 낮을수록 GMI가 커져서 복원력은 커진다.
- 나. 폭이 증가하면 GMI가 커져서 복원력은 커진다.
- 다. 세강상태에서는 선체 중심부의 중력이 커지고 선수미의 부력이 커져 불안정한 상태가 되어 복원력이 감소한다.
- 라. 자유수는 자유표면효과를 발생시켜 GM을 작게하므로 복원력이 감소된다.

### 2006 조선산업기사

12. 수선면적이 1,000㎡ 인 선박에 41 TON의 화물을 갑판 중앙에 적재할 경우, 해수에서 흘수의 증가량은? (단, 해수의 비중은 1.025이다.)

가. 2.5 cm 나. 3.0 cm 다. 3.5 cm 라. 4.0 cm

해설 :  $\frac{41000}{1.025 \cdot 1000 \cdot 1000} = 0.04m$  이므로 4.0cm. (물의 밀도 :  $1.025 \cdot 10^3 kg/m^3$ )

2003 조선산업기사

13. 수선면적( $A_w$ )이  $1200\text{m}^2$ 인 선박의 갑판 중앙에 67.65톤의 화물을 적재하였을 때 흘수 증가량은?

- 가. 4.0cm 나. 4.5cm 다. 5.0cm 라. 5.5cm

2003 조선산업기사

14. 하천을 운항하던 선박이 바다로 진입하면?

- 가. 흘수가 증가한다
나. 흘수가 감소한다
다. 흘수가 변화하지 않는다.
라. 흘수가 증가할 수도 감소할 수도 있다.

해설 : 하천은 비중이 1.0, 바다는 1.025이므로 밀도가 커져서 흘수 계산식의 분모가 커지게 되고 흘수는 작아진다.

2006 조선산업기사

15. 어떤 선박의 선수 흘수가 10m, 선미 흘수가 10.3m이다. 이 선박의 트림(trim) 값은?

- 가. 0.3m 나. 3m 다. 1.4m 라. 1.3m

해설 : 트림은 선수미의 흘수차이므로 10.3 - 10 = 0.3이 된다.

2004 조선산업기사

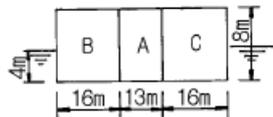
16. 전부흘수 380cm, 후부흘수 345cm인 배가 중량물 이동으로 전부흘수는 360cm, 후부흘수는 450cm로 변화하였다. 새로운 흘수선에 대한 트림은?

- 가. 90cm 선미트림 나. 90cm 선수트림 다. 20cm 선수트림 라. 105cm 선미트림

2004 조선산업기사

17. 길이 45m, 폭 9m, 깊이 8m인 상자형 선체가 흘수 4m로 떠 있다. 그림의 A구획실이 완전 침수되었다면 그 때의 흘수는?

- 가. 3.475m
나. 4.245m
다. 4.785m
라. 5.625m



해설 : 흘수선 아래의 용적을 비교하면 된다. 완전 침수가 되고나면 길이가 45m에서 36m로 줄어들게 되므로 45 \* 9 \* 4 = 32 \* 9 \* x에서 x=5.625이다.

## 2002 조선산업기사

18. 만재 입항시에 복원성이 나쁜 이유가 아닌 것은?

가. 출항시 가득 찼던 연료가 항해 중 소모로 자유표면의 효과가 있다.

나. 선저 탱크의 기름 소모로 인해 중심이 상승한다.

다. 산적 함루선의 경우 횡요에 의해 화물이 한 쪽으로 쏠린다.

라. 항해 중 밸러스트 탱크에 해수를 채우므로 배수량이 증가한다.

해설 : 밸러스트 탱크에 해수를 채우면 배수량이 증가하여 복원력이 커진다.

## 2002 조선산업기사

19. 다음 중에서 경두선을 잘못 설명한 것은?

가. 무게 중심이 낮은 값을 말한다.

나. GM의 값이 커서 복원력이 매우 좋다.

다. 복원력이 크기 때문에 승선감이 매우 좋다.

라. 작업선이나 어선의 경우에 경두선이 많다.

## 2004 조선산업기사

20. 경두선에 관한 설명으로 틀린 것은?

가. 무게 중심이 낮다. 나. 복원력이 크다. 다. 동요주기가 짧다. 라. 승선감이 좋다.

# Section 009 선형의 종류

## 1. 특수선형

### (1) 구상선저선형(Bulbous bow ship)

만재흘수선 부근의 선수부 수선의 형상을 극도로 가늘게 하고, 선수 하부를 구상으로 부풀게 한 것으로 주선체가 발생시키는 선수파는 선수에서 파고로부터 시작하는데 대해 구(burb)에 의한 파도는 구의 바로 뒤에 파저가 나타나게 되는 것을 알게 되어 선수부를 구상으로 만듦으로써 주선체가 발생시키는 파와 구에 의해 발생시키는 파를 간섭시키면 선수파를 소멸시키거나 작게 할 수 있다는 것을 알게 되어 고안된 것이다.

전저항 중 조파저항이 큰 고속선에서만 유리한 것이 아니라 낮은 조파저항을 받는 뚝뚝한 유조선이나 광석운반선 등에도 큰 구를 붙임으로써 저항성능 개선에 큰 효과를 보며 그 이유는 선수파의 소멸작용 이외에도 선체 주위의 유속 감소를 초래하여 마찰저항을 줄이며 선수부의 쇄파저항 감소에 기여하여 전체적인 점성저항 감소에도 유리하기 때문이다.

### (2) 쌍동선(캐터머랜)

쌍동선은 각 선체가 가늘어져 조파저항은 줄어들지만 두 선체를 합친 침수표면적은 늘어나 마찰저항에는 불리하다. 따라서 조파저항의 비중이 큰 고속선에 유리하며 쌍동을 갑판으로 연결하기 때문에 넓은 갑판면적을 얻을 수 있으며 배의 폭이 커져 복원성도 유리하다.

### (3) 수중익선

### (4) 활주선

## 2. 선루의 배치에 따른 배의 종류

- ① 삼도형선 : 상갑판상에 선수루, 선교루 및 선미루 3개의 선루를 가지는 선박으로 선루 배치의 기본형이며 화객선, 화물선에서 볼 수 있다.
- ② 장선수루선 : 선수루와 선교루가 합쳐진 것으로 소형선, 해양구조선에서 볼 수 있다.
- ③ 저선수루선 : 선박의 용도에 따라 선수루가 낮은 선박이다. (선수부 상갑판 높음)
- ④ 저선미루선 : 선박의 용도에 따라 선미루가 낮은 선박이다. (선미부 상갑판 높음)

## 3. 갑판의 배치에 따른 배의 종류

- ① 평갑판선(flush decker) : 상갑판상에 선루가 없는 선박으로 견현갑판을 상갑판으로 하는 선박이다. 평수구역과 같이 파랑이 적은 해역을 항행하는 소형선에서 볼 수 있다.
- ② 복갑판선 : 보통의 선루보다 가벼운 구조의 선루가 선수에서 선미까지 전통한 선형이다. 가벼운 화물을 실을 때에는 상갑판이나 제2갑판 사이에 선실이나 객실을 배치하고 그 하부는 선창으로 하는 경우가 많다.

## 4. 기출문제

### 2003 조선기사

1. 선박의 선수 형상을 구상선수(bulbous bow)로 만드는 주된 목적은?

가. 대형선임을 나타내기 위하여

나. 조파저항을 줄이기 위하여

다. 추진기관의 마력을 줄이기 위하여

라. 선수를 손상으로부터 보호하기 위하여

### 2002 조선산업기사

2. 선수선저 형상을 구상선수로 하는 주된 이유는?

가. 조정성능 증대

나. 선수부 강도 증대

다. 조파저항 성능 개선

라. 점성저항 성능 개선

### 2006 조선산업기사

3. 동일한 선체를 2개로 하여 두 선체를 갑판으로 연결한 형태의 선형으로, 갑판의 적이 넓으며, 복원성이 양호하여 여객선에 주로 적용되는 선형은?

가. 커터머렌(catamaran, 쌍동선)

나. 하이드로포일(hydro-foil)선

다. 공기부양선(air cushion vehicle)

라. 아크형 선(arc form ship)

해설 : 하이드로포일선은 수중익선을 말하며 공기부양선은 호버크라프트이다.

### 2002 조선산업기사

4. 선수 형상에서 구상 선수를 채용하는 일반적 이유는?

가. 외형을 좋게 하기 위하여

나. 충돌시에 대비하여

다. 조파 저항을 줄이기 위하여

라. 선체 용적을 증가시키기 위하여

### 2003 조선산업기사

5. 선형(船型)의 종류 중 소형 화물선에서 선미 부분에 화물적재 공간을 늘려 선미 트림(trim)으로 해 주기 위해 선미부의 상갑판을 약간 높혀 낮은 선미루로 한 것은?

가. 저선미루선 나. 복갑판선 다. 저선수루선 라. 삼도형선

2006 조선산업기사

6. 선수루, 선교루, 선미루의 3가지 선루를 다 갖춘 선박은?

가. 트렁크(trunk)선   나. 삼도형선   다. 저선미루선   라. 평갑판선

# Section 010 선박 진동

## 1. 선박진동

### (1) 원인

- ① 프로펠러의 불균형(기계적 불균형, 날개의 간격, 모양, 피치 등)
- ② 추진축계의 불평형
- ③ 디젤기관의 왕복운동 기구
- ④ 주기적인 파랑(파랑의 충격, 슬래밍, Whipping 등)
- ⑤ 선미부의 불균일한 반류분포 및 캐비테이션
- ⑥ 선미 형상
- ⑦ 프로펠러의 레이크(rake)

### (2) 대책

- ① 선체의 고유진동수 변화(화물 위치, 질량분포 변화 등)
- ② 기진력의 약화
- ③ 감쇄장치의 부착(기진력 발생부와 선체의 사이)
- ④ 설계변경 혹은 구조보강

## 2. 기출문제

### 2009 조선기사

1. 선체진동을 완화하기 위하여 기진력의 진동수와 선체 고유 진동수의 공진현상을 피해야 하는데 이를 위한 일반적인 방법이 아닌 것은?

- 가. 가능한한 기진력을 줄인다.
- 나. 위상조정장치를 설치하여 이용한다.
- 다. 배의 세로질량분포를 변경하여 설계한다.
- 라. 선체건조시 블록의 숫자를 되도록 늘려 조립한다.

### 2003 조선기사

2. 선체 진동의 발생 원인과 가장 거리가 먼 것은?

- 가. 프로펠러의 중심이 편심되어 있을 때
- 나. 엔진의 실린더 수가 많을 때
- 다. 선미부의 반류 분포가 변화할 때
- 라. 파랑에 의해 선체가 동요할 때

### 2004 조선기사

3. 다음 중 선체진동 유발과 관계없는 것은?

- 가. 심한 슬래밍 현상
- 나. 계속적으로 스쳐지나가는 파도
- 다. 회전중에 있는 프로펠러
- 라. 선체의 횡요(橫搖)

해설 : 슬래밍 현상이 심하면 프로펠러가 수면 밖으로 노출되어 진동을 유발한다.

### 2004 조선기사

4. 선체 진동발생을 최소화하기 위해 배치되는 구조 강성이 큰 부재는?

- 가. 선측중통재
- 나. 사이드 거더
- 다. 격벽
- 라. 탱크 사이드 브래킷

해설 : 진동의 원인 중 하나로 중심선을 기준으로 좌우 진동이 있는데 선측중통재는 종강도를 강화시켜주는 부재이다.

### 2003 조선기사

5. 다음 중 프로펠러에 의해 유기되는 선미 진동현상과 가장 관련이 적은 것은?

- 가. 선미 형상
- 나. 프로펠러의 레이크(rake)
- 다. 프로펠러 날개의 명음현상(singing)
- 라. 프로펠러 날개 표면 위의 공동현상(cavitation)

# Section 011 선박설계와 모형시험

## 1. 선박설계

(1) 견적설계 : 선주의 요구조건에 따라 극히 개략적인 구상을 세우는 작업

- ① 주요 요목 결정, 개략적인 요목표 및 시방서 작성
- ② 선체부, 기관부, 전기부에 대한 재료표 작성
- ③ 일반배치도 작성

\* 선주의 요구조건 : 배의 종류, 척수, 선급, 국적, 재화중량, 항해속력 및 구역 등

(2) 기본설계 : 견적설계 이후 상세설계 전까지의 작업

- ① 주요 요목 결정 ② 시방서 작성 ③ 일반배치도 작성 ④ 중앙 횡단면도 작성
- ⑤ 선도의 결정 ⑥ 기관실배치도의 작성 ⑦ 성능관계의 제계산 ⑧ 주요 기기의 요목 결정
- ⑨ 재료표의 작성, 주요 구입품의 주문 요령서 작성

(3) 상세설계 : 건조 선박에 대한 실제공사용 도면을 작성하는 작업

(4) 생산설계 : 공작에 필요한 모든 부재의 가공을 위한 일품도와 취부도 등을 작성

(5) 의장설계 : 의장의 상세설계 과정으로 선체, 기관, 전기의장으로 구성

## 2. 모형시험

(1) 모형시험의 종류

- ① 저항시험 : 선박을 예인하면서 저항을 측정
- ② 저항(추진)시험 : 프로펠러의 추력을 이용해 추진시키는 시험으로 속력, 프로펠러 추력, 토크, 회전수 및 예인력 등을 측정
- ③ 프로펠러단독시험 : 프로펠러 단독으로 시험하는 것으로 프로펠러의 전진속력, 추력, 토크, 회전수 등을 측정
- ④ 유선가시화(조사)시험 : 선형을 개선하거나 선체 주위 유선을 분석하여 부가물을 부착하기 위한 최적위치를 구하는 시험으로 물감, 페인트 등을 이용해 유선의 흐름 및 속력 등을 측정

\* 모형시험에서 모형선의 '전저항'을 구한다.

### 3. 기출문제

#### 2002 조선산업기사

1. 선박설계에 있어서 설계자가 결정해야 할 선박 특성은?

가. 재화중량 나. **형상계수** 다. 항해구역 라. 항해속력

해설 : 나머지는 모두 선주의 요구사항이다.

#### 2003 조선산업기사

2. 선박으로서 갖추어야 할 기본적인 3가지 특성이 아닌 것은?

가. 부양성 나. 적재성 다. 이동성 라. **예인성**

해설 : 예인성은 기본적인 특성은 될 수 없다.

#### 2003 조선기사

3. 선형 개발을 위한 모형시험 중에서 배의 저항, 추진성능 평가와 가장 관련이 없는 것은?

가. 저항추진시험 나. 유선조사시험 다. 반류분포조사시험 라. **응력계측시험**

#### 2004 조선기사

4. 모형실험을 하기 위한 수조의 크기로서 수조의 측벽 및 바닥의 영향이 무시될 수 있는 크기 설명으로 잘못된 것은?

가. 수조의 폭은 모형선 길이의 1.5배 이상이면 된다.

나. 수심은 모형선 길이의 3/4~1배 정도면 된다.

다. 수조의 횡단면적은 모형선의 수면하 중앙 횡단면적의 약 100배 이상이면 된다.

라. 수조의 길이는 모형선 길이의 20배 이상 되어야 한다.

#### 2006 조선산업기사

5. 선박의 저항을 산정하기 위하여 모형시험을 하는데, 모형시험으로 모형선의 어떤 저항을 계측하는가?

가. 조와저항 나. 마찰저항 다. 조파저항 라. **전저항**

# Section 012 응력 및 변형률

## 1. 응력 및 변형률의 개념

(1) 응력 : 외력에 의해 발생하는 물체내의 단위 면적당 저항력(내력)

### ① 수직응력(Normal Stress)

물체의 단면에 수직으로 작용하는 하중에 의해 발생하는 응력으로 법선응력이라고도 하며 인장응력과 압축응력이 있다.

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ 로 나타낸다.}$$

### ② 전단응력(Shearing Stress)

물체에 작용하는 전단하중에 의해 전단면의 접선방향으로 발생하는 응력으로 접선응력이라고도 한다.

$$\tau = \frac{P}{A} \text{ 로 나타낸다.}$$

(2) 변형률 : 하중에 의해 발생한 변형량을 원래의 양으로 나누어 결정하는 값.

### ① 세로변형률(종변형률, $\epsilon$ )

$$\epsilon = \frac{L' - L}{L} = \frac{\delta}{L} \text{ 로 나타내며 } \delta \text{ 는 세로변형량(종변형량)이다.}$$

### ② 가로변형률(횡변형률, $\epsilon'$ )

$$\epsilon' = \frac{d' - d}{d} = \frac{\delta'}{d} \text{ 로 나타내며 } \delta' \text{ 는 가로변형량(횡변형량)이다.}$$

### ③ 전단변형률( $\gamma$ )

$$\gamma = \frac{\delta_s}{L} = \tan \phi \approx \phi [rad] \text{ 로 나타내며 } \delta_s \text{ 는 전단변형량, } \phi \text{ 는 전단각이다.}$$

### ④ 프와송비(Poisson's ratio)

가로변형률과 세로변형률의 비이다.

$$\mu = \frac{1}{m} = \frac{\epsilon'}{\epsilon} \text{ 이며 } \mu \text{ 는 프와송비, } m \text{ 은 프와송 수이다.}$$

⑤ 면적변형률과 체적변형률

-  $\epsilon_A = \frac{\Delta A}{A} = 2\mu\epsilon$

- 모든 방향에서 동일 하중이 작용할 때  $\epsilon_V = \frac{\Delta V}{V} = \pm 3\epsilon$

- 균일 단면봉에 인장하중이 작용할 때  $\epsilon_V = \epsilon(1 - 2\mu)$

⑥ 후크의 법칙(Hook's law)

-  $\sigma = E \cdot \epsilon$  ( $E$  : 종탄성계수)

- 종변형량  $\delta = L \cdot \epsilon = L \frac{\sigma}{E} = \frac{PL}{AE}$

- 횡변형량  $\delta' = d \cdot \epsilon' = d \frac{\epsilon}{m} = \frac{d\sigma}{mE}$

-  $\tau = G \cdot \gamma$  ( $G$  : 횡탄성계수)

- 횡탄성계수와 종탄성계수의 관계  $G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{mE}{2(m+1)}$

- 체적탄성계수  $\sigma_V = K \cdot \epsilon_V$ ,  $K = \frac{E}{3(1-2\mu)} = \frac{mE}{3(m-2)}$

(3) 허용응력과 안전율

① 허용응력 : 변화가 없는 최대한의 응력. (넘어서면 파괴 및 소성작용이 일어남)

② 안전율 :  $S = \frac{\sigma_u}{\sigma_a}$  ( $\sigma_u$  : 사용응력,  $\sigma_a$  : 허용응력)

③ 사용응력  $\leq$  허용응력  $<$  탄성한도

(4) 응력집중 : 결함이 있는 곳에 응력이 집중되어 큰 응력이 발생하는 현상

- 응력집중계수  $\alpha_k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{mean}}$

(5) 직렬과 병렬

- 직렬 :  $\sigma_1 = \frac{P}{A_1}, \sigma_2 = \frac{P}{A_2}, \delta = \frac{PL_1}{A_1E_1} + \frac{PL_2}{A_2E_2}$

- 병렬 :  $P = \sigma_1A_1 + \sigma_2A_2, \epsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{\sigma_1}{E_1} = \frac{\sigma_2}{E_2}, \sigma_1 = \frac{PE_1}{A_1E_1 + A_2E_2}, \sigma_2 = \frac{PE_2}{A_1E_1 + A_2E_2}$

$$\delta = L \frac{\sigma_1}{E_1} = \frac{PL}{A_1E_1 + A_2E_2}$$

(6) 자중상태

- 자중만 있는 경우

$$\sigma = \int_0^L \gamma dx = \gamma L, \delta = \int_0^L \frac{\gamma x}{E} dx = \frac{\gamma L^2}{2E} \quad (\gamma : \text{비중량}, N/m^3)$$

- 자중과 하중이 모두 있으면 위의 식에 기본 공식을 더한다. ( $\sigma = \frac{P}{A}, \delta = \frac{PL}{AE}$ )

- 자중만 고려했을 때 원추형 봉 : 균일단면봉의 값에 1/3을 곱해준다.

(7) 열응력 : 응력은 봉의 양단이 모두 고정된 경우에만 발생한다.

$$\epsilon = \alpha \cdot \Delta t, \delta = L \cdot \alpha \cdot \Delta t, \sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

(8) 탄성에너지

$$U = \frac{1}{2}P\delta$$

① 수직하중(수직응력) 상태 :  $U = \frac{1}{2}P\delta = \frac{\sigma^2}{2E} V$  [J]

- 레질리언스 계수(단위체적당 탄성에너지, 탄성에너지 계수) :  $u = \frac{U}{V} = \frac{\sigma^2}{2E}$  [N/m<sup>2</sup>]

② 전단하중(전단응력) 상태 :  $U = \frac{1}{2}P\delta = \frac{\tau^2}{2G} V$  [J]

- 레질리언스계수 :  $u = \frac{\tau^2}{2G}$

(9) 충격응력과 변형량 : 플랜지가 부착된 봉에 추를 떨어뜨림 - 위치에너지를 이용한다.

$$\sigma_0 = \frac{W}{A}, \delta_0 = \frac{WL}{AE}, h : \text{추의 낙하높이}$$

① 충격응력  $\sigma = \sigma_0 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_0}}\right)$

② 충격변형량  $\delta = \delta_0 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_0}}\right)$

③ 갑자기 놓으면  $h \approx 0$ 이 되어  $\sigma = 2\sigma_0, \delta = \delta_0$  이 된다.

(10) 내압을 받는 얇은 원통

① 원주응력(후프응력)

$$P \cdot DL = \sigma_t \cdot 2tL, \sigma_t = \frac{PD}{2t}, \text{ 판의 두께 } t = \frac{PD}{2\sigma_a \eta} + C \quad (\eta : \text{이음효율}, C : \text{부식여유})$$

② 축응력

$$P \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \sigma_z \cdot \pi Dt, \sigma_z = \frac{PD}{4t}$$

(11) 얇은 회전 원판에서의 후프응력

① 원주속도  $V = Rw = \frac{\pi DN}{60}, w = \frac{2\pi N}{60}$

② 후프응력

$$F_n = ma_n = \frac{W}{g} R w^2 = \frac{\gamma t}{g} R w^2 \quad (W : \text{단위 폭당 중량 } N/m^2, F_n : \text{단위 폭당 원심력})$$

$$\sigma_t = \frac{F_n D}{2t} = \frac{\gamma}{g} R^2 w^2 = \frac{\gamma V^2}{g}$$

(12) 응력-변형을 선도 : **인장시험**

- 비례한도, 탄성한도, 상·하항복점, 극한강도, 파괴강도 등을 알 수 있다.
- 하항복점과 극한강도를 항복점이라고 부른다.

## 2. 기출문제

### 2003 조선기사

1. 코일 스프링이 600N의 힘이 작용되어 0.03m의 변형을 일으켰다. 이 때 이 스프링에 저장된 탄성에너지는?

가.  $18N \cdot m$  나.  $6N \cdot m$  다.  $9N \cdot m$  라.  $12N \cdot m$

해설 :  $U = \frac{1}{2}P\delta = \frac{1}{2} \cdot 600 \cdot 0.03 = 9$

### 2003 조선기사

2. 입방체가 그 표면에 외부로부터 균일한 압력 P를 받고 있을 때, 체적 변화율을 표현한 식은?

가.  $\frac{-3(1-\mu)P}{2E}$  나.  $\frac{-2(1-2\mu)P}{E}$  다.  $\frac{-3(1-2\mu)P}{E}$  라.  $\frac{-3(1-\mu)P}{E}$

### 2003 조선기사

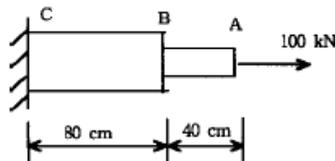
3. 지름이 d이고 길이가 L인 환봉이 있다. 이 환봉에 압축하중 P가 작용하여 지름이  $d_0$ 로 변했다면, 환봉 재료의 포아송비는 어떻게 표현되는가?  
(단, 환봉의 탄성계수는 E이다.)

가.  $\frac{\pi Ed(d_0 - d)}{P}$  나.  $\frac{\pi Ed(d_0 - d)}{2P}$  다.  $\frac{\pi Ed(d_0 - d)}{4P}$  라.  $\frac{\pi Ed^2(d_0 - d)}{P}$

### 2003 조선기사

4. 그림과 같은 복합 막대가 각각 단면적  $A_{AB} = 100 \text{ mm}^2$ ,  $A_{BC} = 200 \text{ mm}^2$ 을 갖는 두 부분 AB와 BC로 되어있다. 막대가 100 kN의 인장하중을 받을 때 총 신장량을 구하면?  
(단, 재료의 탄성계수(E)는 200 GPa이다.)

가. 2mm  
나. 4mm  
다. 6mm  
라. 8mm



해설 :  $\delta = \frac{PL_{AB}}{A_{AB}E} + \frac{PL_{BC}}{A_{BC}E} = 0.004 \text{ m} = 4 \text{ mm}$

2003 조선기사

5. 재료시험에서 연강재료의 탄성계수  $E=210\text{GPa}$ 를 얻었을 때 포아송 비가 0.303이면 이 재료의 전단 탄성계수  $G$ 는 몇  $\text{GPa}$ 인가?

- 가. 8.05      나. 10.5      다. 35      라. 80.5

해설 :  $G = \frac{E}{2(1+\mu)} = 80.583$

2003 조선기사

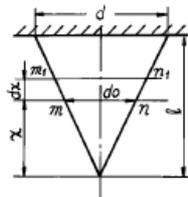
6. 그림과 같이 원추형 붕이 연직으로 매달려 있다. 길이  $l$ , 고정단의 직경  $d$ , 비중량이  $\gamma$  인 경우 붕의 자중에 의한 신장량은?

가.  $\frac{\gamma l^2}{6E}$

나.  $\frac{\gamma l^2}{5E}$

다.  $\frac{\gamma l^2}{4E}$

라.  $\frac{\gamma l^2}{3E}$



해설 :  $\delta = \frac{1}{3} \int_0^l \frac{\gamma x}{E} dx = \frac{\gamma l^2}{6E}$

2002 조선산업기사

7. 코일스프링에 60N의 힘을 작용시켰더니 2.7cm 줄었다. 이 때 스프링에 저장된 탄성에너지는 몇  $N \cdot cm$ 인가?

- 가. 162      나. 81      다. 73      라. 92

2002 조선산업기사

8. 운동량의 단위는?

- 가.  $\text{kgf} \cdot \text{sec}^2/\text{m}$       나.  $\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{sec}$       다.  $\text{kgf} \cdot \text{sec}$       라.  $\text{kgf}$

2004 조선기사

9. 길이가 60cm이고 단면이 1cm x 1cm인 알루미늄 봉에 인장하중 P=10kN이 걸리면 인장하중에 의해 늘어난 길이는?  
(단, 알루미늄의 E=20GPa)

- 가. 1.5mm      나. 3mm      다. 6mm      라. 2mm

해설 :  $\sigma = \frac{P}{A} = E \cdot \frac{\delta}{l}, \delta = 0.003m = 3mm$

2004 조선기사

10. 지름 30mm의 원형 단면이며, 길이 1.5m인 봉에 85kN의 축방향 하중이 작용된다. 탄성계수 E=70GPa, 프와송비  $\nu = 1/3$ 일 때, 체적증가량의 근사값은 몇  $mm^3$ 인가?

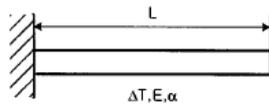
- 가. 30      나. 60      다. 300      라. 600

해설 :  $\Delta V = V \cdot \epsilon_V = Al \cdot \epsilon(1 - 2\nu) = Al \frac{P}{AE}(1 - 2\nu) = 6.07 \cdot 10^{-7}m^3 \approx 600mm^3$

2004 조선기사

11. 다음과 같은 부재의 온도를  $\Delta T$ 만큼 증가시켰을 때, 부재 내에 발생하는 응력은?

- 가. 0  
나.  $\alpha \Delta T$   
다.  $E\alpha \Delta T$   
라.  $\frac{\Delta TL}{AE}$



해설 : 외팔보이기 때문에 응력은 발생하지 않는다.

2004 조선기사

12. 지름 6mm인 강철선 150m가 수직으로 매달려 있을 때 자중에 의한 처짐량은 몇 mm인가?  
(단, E = 200GPa, 강철선의 비중량은  $7.7 \cdot 10^4 N/m^3$ )

- 가. 3.02      나. 3.17      다. 3.58      라. 4.33

해설 :  $\delta = \int_0^l \frac{\gamma x}{E} dx = \frac{\gamma l^2}{2E} = 0.00433m = 4.33mm$

2004 조선기사

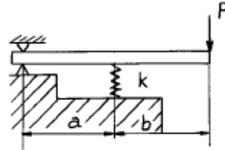
13. 다음과 같이 하중 P가 작용할 때 스프링의 변위  $\delta$ 는?  
(이 때 스프링 상수는 k이다.)

가.  $\delta = \frac{(a+b)}{bk} P$

나.  $\delta = \frac{(a+b)}{ak} P$

다.  $\delta = \frac{ak}{(a+b)} P$

라.  $\delta = \frac{bk}{(a+b)} P$



해설 :  $(a+b)P = ak\delta, \delta = \frac{(a+b)}{ak} P$

2004 조선기사

14. 길이가 50mm인 원형단면의 철강재료를 인장하였더니 길이가 54mm로 신장되었다.  
이 재료의 변형률은?

- 가. 0.4      나. 0.8      **다. 0.08**      라. 1.08

해설 :  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{4}{50} = 0.08$

2004 조선기사

15. 다음 중 체적계수(bulk modulus)를 나타낸 식은?  
(단, E는 탄성계수, G는 전단탄성계수,  $\nu$ 는 포아송비이다.)

- 가.  $\frac{E}{3(1-2\nu)}$     나.  $\frac{E}{2(1+\nu)}$     다.  $\frac{G}{2(1+\nu)}$     라.  $\frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{E}$

2009 조선기사

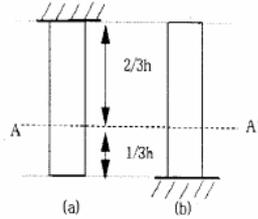
16. 지름 d=20cm, 길이 L=40cm인 콘크리트 원통에 압축하중 P=20kN이 작용하여 지름이 0.0006cm만큼 늘어나고 길이는 0.0057cm만큼 줄어들었을 때, 포아송 비는?

- 가. 0.021      나. 0.088      **다. 0.21**      라. 0.88

해설 :  $\mu = \frac{\frac{0.0006}{20}}{\frac{0.0057}{40}} = 0.21$

2009 조선기사

17. 직경, 재질, 길이가 동일한 2개의 강재 원형봉이 윗면(a), 아래면(b)에서 자중이 각각 지지되고 있다. 단면 A-A'에 작용하는 평균 수직응력은 (a), (b)에서 각각  $\sigma_a, \sigma_b$ 이다.  $\frac{|\sigma_a|}{|\sigma_b|}$ 의 값은?



- 가. 1/3
- 나. 1/2
- 다. 2
- 라. 3

해설 : (a)는 1/3h만큼 인장응력이, (b)는 2/3h만큼의 압축응력이 실리므로 1/2가 된다.

2009 조선기사

18. 17°C에서 20MPa의 인장 응력을 받도록 봉의 양단을 고정한 후 7°C로 냉각시켰을 경우 응력은 몇 MPa인가?

(단, 탄성계수 E=210 GPa, 선팽창계수  $\alpha = 11.3 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ )

- 가. 3.73
- 나. 7.46
- 다. 23.73
- 라. 43.73

해설 :  $\sigma = E\alpha\Delta T = 23.73\text{MPa}$ 이므로 기존의 20MPa와 더하면 43.73MPa가 된다.

2009 조선기사

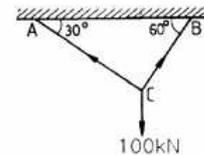
19. 두께 8mm의 강판으로 만든 안지름 40cm의 얇은 원통에 1MPa의 내압이 작용할 때 강판에 발생하는 후프 응력(원주 응력)은 몇 MPa인가?

- 가. 25
- 나. 20
- 다. 15
- 라. 50

해설 :  $\sigma_t = \frac{PD}{2t} = 25$

2009 조선기사

20. 그림과 같이 강선이 천정에 매달려 100kN의 무게를 지탱하고 있을 때, AC 강선이 받고 있는 힘은 약 몇 kN인가?



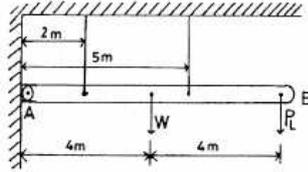
- 가. 30
- 나. 40
- 다. 50
- 라. 60

해설 : 라미의 정리를 이용하면  $\frac{100\text{kN}}{\sin 90^\circ} = \frac{T_{AC}}{\sin 150^\circ}$ ,  $T_{AC} = 50\text{kN}$

2009 조선기사

21. 그림과 같은 강체 구조물을 지지하고 있는 강선의 지름은 2.5mm이고, 허용응력  $\sigma_a=260$  MPa이다. 이 때  $W=1000N$ 이 AB의 중앙에 위치하고 있을 때 자유단 B에 걸 수 있는 최대하중  $P_L$ 은 몇 N인가?

- 가. 593
- 나. 616
- 다. 649
- 라. 692



해설 :  $\sum M_A = -2\sigma_1 A + 4W - 5\sigma_2 A + 8P_L = 0, P_L = 616N$  ( $\sigma_1 = \sigma_2 = 260 MPa$ )

2006 조선산업기사

22. 지름이 10cm이고, 길이가 1m인 연강복이 인장하중을 받고 0.5mm 늘어났다. 이봉에 축적된 탄성 에너지는 몇 N\*m 인가? (단, 탄성계수  $E = 210$  GPa 이다.)

- 가. 56.3      나. 102.4      다. 206.2      라. 312.7

해설 :  $U = \frac{1}{2} P\delta = \frac{E\epsilon^2}{2} Al = 206 N \cdot m$

2006 조선산업기사

23. 탄소강의 인장시험에 의한 응력-변형률 선도로부터 알 수 있는 재료의 기계적 성질은?

- 가. 비례한도, 항복점, 극한강도
- 나. 비례한도, 처짐, 항복점
- 다. 비례한도, 극한강도, 처짐
- 라. 비례한도, 처짐, 탄성계수

2003 조선산업기사

24. 길이 10m, 단면적 10cm<sup>2</sup>의 철강봉을 50kN으로 인장하여 0.25cm 늘어났다. 이 재료의 탄성계수 E는 몇 GPa인가?

- 가. 210      나. 200      다. 215      라. 220

해설 :  $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Pl}{A\Delta l} = 200 GPa$

2003 조선산업기사

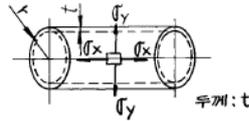
25. 곧은 봉에 축 하중을 주었을 때 포아송 비(Poisson's ratio)의 정의로 옳은 것은?

- 가.  $\frac{\text{축(종)방향의 늘어난량}}{\text{가로(횡)방향의 수축량}}$       나.  $\frac{\text{축(종)방향의 변형률}}{\text{가로(횡)방향의 변형률}}$
- 다.  $\frac{\text{가로(횡)방향의 수축량}}{\text{축(종)방향의 늘어난량}}$       라.  $\frac{\text{가로(횡)방향의 변형률}}{\text{축(종)방향의 변형률}}$

2004 조선기사

26. 그림의 얇은 용기가 균일 내압을 받고 있으며, 축 방향의 응력을  $\sigma_x$ , 원주(圓周) 방향의 응력을  $\sigma_y$ 라고 할 때  $\sigma_x/\sigma_y$ 의 값으로 옳은 것은?  
(단, 용기원통의 반지름은 r이다.)

- 가. 1/2
- 나. 2
- 다. 4
- 라. 1/4

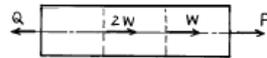


해설 : 이 장의 공식에서 보면 답이 바로 나온다. 축방향의 응력이 원주응력의 1/2이다.

2004 조선기사

27. 다음 그림과 같은 균일 단면한봉이 축방향에 하중을 받고 평형이 되어 있다. Q=3P가 되려면 W는 얼마인가?

- 가.  $W = \frac{2}{3}P$
- 나.  $W = 3P$
- 다.  $W = \frac{P}{3}$
- 라.  $W = 2P$



해설 : 양면 고정단이 아니므로 x축방향의 힘의 평형을 이용하면  $Q=P+3w=3P$ 가 된다.

2002 조선산업기사

28. 안지름이 180cm, 두께가 15mm인 원통형 보일러 용기 안의 압력이 1MPa일 때, 이 용기에 발생하는 최대 응력은 몇 MPa인가?

- 가. 30
- 나. 60
- 다. 300
- 라. 600

해설 : 원주응력이 축응력보다 크므로 구해보면  $\sigma_t = \frac{PD}{2t} = 60MPa$

2003 조선산업기사

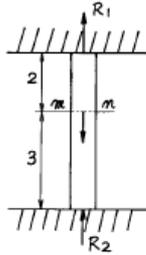
29. 내압 3MPa, 안지름 100cm의 보일러 원통의 판두께는 몇mm인가?  
(단, 재료의 허용응력은 90MPa이고, 이용효율은 70%이다.)

- 가. 8
- 나. 16
- 다. 24
- 라. 32

해설 :  $t = \frac{PD}{2\sigma_a\eta} = 24$

2003 조선산업기사

30. 그림과 같이 양단을 고정한 균일단면봉의 단면 m-n에 축하중 50kN이 작용할 때 양단에서의 반력비  $R_1/R_2$ 는?



- 가. 1.5
- 나. 1
- 다. 2.25
- 라. 1.22

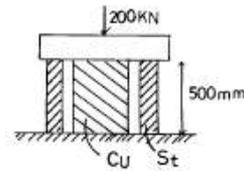
해설 :  $R_1 = \frac{3}{5}P, R_2 = \frac{2}{5}P$  이므로  $R_1/R_2 = 1.5$

2003 조선기사

31. 중공(中空)의 강실린더 안에 구리 원통이 들어있고 높이는 500mm로 동일하다. 강실린더의 단면적은  $2000\text{mm}^2$ 이고 구리 원통의 단면적은  $5000\text{mm}^2$ 이다. 구리 원통이 모든 하중을 받게 하기 위해 필요한 온도상승은 최소 몇  $^{\circ}\text{C}$ 인가?

(단, 하중은  $200\text{kN}$ 이며, 하중을 받는 판은 변형하지 않는다. 구리  $E=120\text{GN/m}^2, \alpha = 20 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , 철  $E=200\text{GN/m}^2, \alpha = 12 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )

- 가. 38
- 나. 40
- 다. 42
- 라. 45



해설 :  $P = \sigma A_{cu} = E_{cu} \cdot A_{cu} (\alpha_{cu} - \alpha_{fe}) \Delta T, \Delta T = 42$

2004 조선산업기사

32. 재료의 기계적 성질을 나타내는 것 중에는 탄성한도, 변형률, 극한강도 등이 있다. 이러한 성질들을 알기 위한 재료시험으로 가장 적합한 것은?

- 가. 압축시험
- 나. 인장시험
- 다. 피로시험
- 라. 충격시험

해설 : 인장시험으로 구한 응력-변형률 선도에서 모두 알 수 있다.

2009 조선기사

33. 피로 한도(fatigue limit)와 가장 관계가 깊은 하중은?

- 가. 충격 하중
- 나. 정 하중
- 다. 반복 하중
- 라. 수직 하중

해설 : 피로 한도는 무한 횟수만큼 반복시켜 파괴가 일어나는 응력값이다.

2004 조선기사

34. 재료의 피로한도는 무한 횟수만큼 작용시켜야 파괴가 일어나는 응력값이다. 구조용 강재의 피로한도에 가장 큰 영향을 미치는 재료의 물리적 특성은?

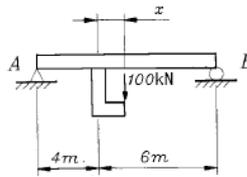
- 가. 강성            나. 비례한계            다. 탄성한계            라. 최후강도

해설 : 무한반복이므로 마지막에 파괴되는 값이 중요하다. 비례한계와 탄성한계는 인장시험의 응력-변형을 선도에서 알 수 있다.

2004 조선산업기사

35. 그림과 같은 단순보에서 A지점의 반력이 50 kN이 되기 위해서는 x는 몇 m인가?

- 가. 0.5
- 나. 1
- 다. 1.5
- 라. 2



해설 :  $\sum M_B = 0 ; 10R_A = (6 - x)100$ 에서  $R_A = 50kN$ 이면  $x = 1m$ 이다.

2006 조선산업기사

36. 다음 그림에서 중앙지점(D점)의 굽힘 모멘트는 N\*m 인가?

- 가. 100            나. 200            다. 300            라. 400

(그림 = 단순지지보 길이 4m 왼쪽 끝단 A, 오른쪽 끝단 B, 정중앙 D A 지점에서 1m 떨어진 지점 C에 집중하중 400N 작용)

해설 :  $\sum M_A = 400 - 4R_B = 0, R_B = 100N, \sum M_D = 2R_B = 200N$

# Section 013 관성모멘트

## 1. 관성모멘트

(1) 단면1차모멘트(면적모멘트, 1차 관성모멘트) : 도심을 결정하기 위한 것

$$\textcircled{1} G_x = \int_A y dA = \bar{y}A [m^3], G_y = \int_A x dA = \bar{x}A [m^3]$$

(2) 단면2차모멘트(2차 관성모멘트) : 단면계수 및 굽힘 모멘트를 결정하기 위한 것

$$\textcircled{1} I_x = \int_A y^2 dA [m^4], I_y = \int_A x^2 dA [m^4]$$

$$\textcircled{2} \text{도심을 지나는 축에 대한 구형단면} : I_{cx} = \frac{bh^3}{12}, I_{cy} = \frac{b^3h}{12}$$

$$\textcircled{3} \text{도심을 지나는 축에 대한 원형단면} : I_{cx} = I_{cy} = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\textcircled{4} \text{도심을 지나는 축에 대한 삼각형단면} : I_{cx} = \frac{bh^3}{36}$$

(3) 단면2차모멘트의 평행축 정리

도심을 지나는 중심축에서 임의의 축까지의 거리를 S라고 하면,

$$I_{x'} = \int_A y^2 dA = \int_A (\bar{y} + S)^2 dA = I_{cx} + AS^2$$

(4) 극단면 2차모멘트 : 극단면계수를 결정하여 비틀림 모멘트를 결정할 수 있다.

$$\textcircled{1} I_p = \int_A r^2 dA = \int_A (x^2 + y^2) dA = I_x + I_y$$

$$\textcircled{2} \text{도심을 지나는 축에 대한 구형단면} : I_p = \frac{bh^3}{12} + \frac{b^3h}{12} = \frac{bh(b^2 + h^2)}{12}$$

$$\textcircled{3} \text{도심을 지나는 축에 대한 원형단면} : I_p = 2 \cdot \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi d^4}{32}$$

(5) 단면계수와 극단면계수

도심에서 끝단까지의 거리를  $S_{ce}$ 라 두고 x축을 기준으로 정리한다.

① 단면계수  $Z = \frac{I_{cx}}{S_{ce}} [m^3]$

② 극단면계수  $Z_P = \frac{I_P}{S_{ce}} [m^3]$

③ 구형단면 :  $Z = \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{6}$ ,  $Z_P = \frac{\frac{bh(b^2+h^2)}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{b(b^2+h^2)}{6}$

④ 원형단면 :  $Z = \frac{\frac{\pi d^4}{64}}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi d^3}{32}$ ,  $Z_P = \frac{\frac{\pi d^4}{32}}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi d^3}{16}$

⑤ 삼각형단면 :  $Z_1 = \frac{\frac{bh^3}{36}}{\frac{2}{3}h} = \frac{bh^2}{24}$ ,  $Z_2 = \frac{\frac{bh^3}{36}}{\frac{1}{3}h} = \frac{bh^2}{12}$

(6) 회전반경(관성반경, 단면 2차반경)

$$k = \sqrt{\frac{I_{cx}}{A}} [cm, m]$$

(7) 단면 상승 모멘트, 관성 상승 모멘트

$$- I_{xy} = \int_A xy dA = \bar{x} \bar{y} A [m^4]$$

- 주축(관성주축) : 관성상승 모멘트가 0이 되고 도심을 지나는 축.

## 2. 기출문제

2002 조선산업기사, 2006 조선산업기사

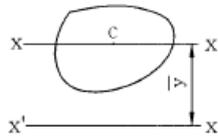
1. 단면의 주축에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 주축에서는 단면 상승 모멘트가 0 이다.
- 나. 주축에서는 단면 2차 모멘트가 0 이다.
- 다. 주축에서는 단면 관성 모멘트가 최대이다.
- 라. 주축에서는 단면 상승 모멘트가 최대이다.

2004 조선산업기사

2. 그림에서 평면 도형의 도심 C를 지나서 X축에 대한 단면 2차모멘트를  $I_x$ , X축으로부터 거리  $\bar{y}$ 만큼 떨어진 X'축에 대한 단면 2차모멘트를  $I_{x'}$ 라 할 때, 다음 중 옳은 것은? (단, 평면도형의 전체 면적은 A이다.)

- 가.  $I_{x'} = \bar{y}^2 A + I_x$
- 나.  $I_{x'} = \bar{y}^2 A - I_x$
- 다.  $I_{x'} = \bar{y} A + I_x$
- 라.  $I_{x'} = \bar{y} A - I_x$



2003 조선산업기사

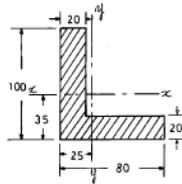
3. 한 변의 길이가 6cm인 정사각형 단면의 단면계수와 같은 원형단면 축을 만들려면 지름을 몇 cm로 해야 하는가?

- 가. 7.2      나. 8.2      다. 9.2      라. 10.2

해설 :  $\frac{b^3}{6} = \frac{\pi d^3}{32}, d = 7.2$

2003 조선산업기사

4. 그림과 같은 L형 단면의 도심이  $\bar{y} = 35mm, \bar{x} = 25mm$ 이다. x-x축의 단면 2차 모멘트  $I_x$ 를 구하면 몇  $cm^4$ 인가? (단, 단면두께는 20mm이다.)



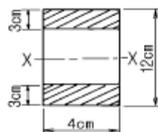
- 가. 209.4
- 나. 210.4
- 다. 286.8
- 라. 290.9

해설 : 2개로 분해해서 생각한다.  $\frac{2 \cdot 10^3}{12} + 2 \cdot 10 \cdot 1.5^2 + \frac{6 \cdot 2^3}{12} + 12 \cdot 2.5^2 = 290.7$

2003 조선기사

5. 그림과 같은 단면의 보에서 X축에 대한 단면계수는?

- 가.  $72cm^3$
- 나.  $78cm^3$
- 다.  $84cm^3$
- 라.  $504cm^3$



해설 :  $I_{cx} = 504 cm^4$  이므로 단면계수는  $Z = I_{cx} / S_{ce} = 504 / 6 = 84 cm^3$

2009 조선기사

6. 폭 b, 높이 h인 직사각형 단면의 밑변에 대한 단면 1차모멘트는?

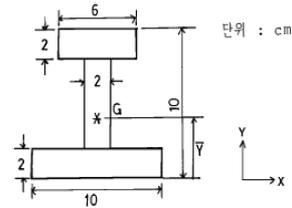
- 가.  $\frac{bh^2}{2}$     나.  $\frac{bh^3}{12}$     다.  $\frac{bh^3}{6}$     라.  $\frac{bh^2}{6}$

해설 :  $G_x = \bar{y}A = \frac{h}{2}bh = \frac{bh^2}{2}$

2002 조선산업기사

7. 그림과 같은 Y축에 대칭인 I형 단면의 도심  $\bar{y}$ 는?

- 가. 3.25  
 나. 4.27  
 다. 5.67  
 라. 6.80



해설 : 1차모멘트를 구하면 된다.  $\frac{12 \cdot 9 + 12 \cdot 5 + 20 \cdot 1}{44} = 4.27$

2003 조선기사

8. 다음 그림과 같은 부재의 관성모멘트(면적의 2차모멘트)값은?  
 (단,  $h_1 = 2m, h_2 = 3m$ 이다.)

- 가.  $5.4m^4$     나.  $4.8m^4$     다.  $2.6m^4$     라.  $1.3m^4$

해설 : 정사각형은  $I = \frac{h^4}{12}$ 이므로  $I = \frac{1}{12}(h_2^4 - h_1^4) = \frac{65}{12} = 5.4m^4$

2004 조선기사

9. 바깥지름( $d_2$ )이 60cm, 안지름( $d_1$ )이 55cm인 중공(中空) 원형 단면의 단면계수는?

- 가. 약  $6233.1cm^3$     나. 약  $74758.8cm^3$     다. 약  $6796.3cm^3$     라. 약  $3114.6cm^3$

해설 :  $I = \frac{\pi}{64}(d_2^4 - d_1^4) = 186992.26cm^4, Z = \frac{2I}{d_2} = 6233.1cm^3$

# Section 014 비틀림

## 1. 비틀림(Torsion)

- 비틀림 강도(강도 지표)  $T = \tau \cdot Z_p$

- 비틀림 각(강성도 지표)  $\tau = G \frac{r\theta}{L}$ ,  $\theta = \frac{\tau L}{Gr} = \frac{TL}{GI_p}$  [rad]

- 동력 단위  $1[PS] = 75[kgf \cdot m/sec] = 0.735[kW]$ ,  $1[kW] = 102[kgf \cdot m/sec] = 1.36[PS]$

-  $H = T \cdot w = T \frac{2\pi N}{60}$

-  $T = 716.2 \cdot 9.8 \frac{H_{PS}}{N} = 974 \cdot 9.8 \frac{H_{kW}}{N}$

-  $w = \frac{2\pi N}{60}$ ,  $f = \frac{w}{2\pi}$

- 비틀림에 의한 탄성에너지  $U = \frac{1}{2} T\theta = \frac{T^2 L}{2GI_p} = \frac{\tau^2}{4G} V$  [J]

- 스프링 직렬연결  $1/k = 1/k_1 + 1/k_2$  병렬연결  $k = k_1 + k_2$

## 2. 기출문제

### 2004 조선기사

1. 길이가 3m인 원형 단면축의 지름이 20mm일 때 이 축이 비틀림 모멘트  $100N \cdot m$ 을 받는다면 비틀어진 각도는?

(단, 전단탄성계수  $G=80GPa$ 이다.)

가.  $0.24^\circ$     나.  $0.52^\circ$     다.  $4.56^\circ$     **라.  $13.7^\circ$**

해설 :  $\theta = \frac{TL}{GI_p} = \frac{32TL}{G\pi d^4} \cdot \frac{180}{\pi} = 13.7^\circ$

### 2004 조선기사

2. 탄성계수  $E$ , 전단 탄성계수  $G$ 인 재료로 되어 있는 지름  $D$ 이고, 길이  $l$ 인 동근봉이 비틀림모멘트  $T$ 를 받고 있다. 이때 이 봉속에 저축되는 변형에너지는?

가.  $\frac{32T^2l}{G\pi D^4}$     나.  $\frac{32T^2l}{GD^4}$     다.  $\frac{16T^2l}{G\pi D^4}$     라.  $\frac{16T^2l}{ED^4}$

2004 조선산업기사

3. 원형단면 축에 저장되는 변형 에너지를 나타내는 식은?

(단, T는 비틀림모멘트, G는 전단탄성계수, ϕ는 단위 길이당 비틀림각, J는 극관성모멘트, L은 축의 길이이다.)

- 가.  $\frac{T^2L}{2GJ}$     나.  $\frac{GJ\phi^2}{2}$     다.  $\frac{T^2\phi}{2G}$     라.  $\frac{TL}{2}$

2003 조선기사

4. 길이 L인 회전축이 비틀림 모멘트 T를 받을 때 비틀림 각도(θ°)는?

- 가. 약  $584 \times \frac{TL}{Gd^4}$     나. 약  $57.3 \times \frac{TL}{Gd^4}$     다. 약  $10 \times \frac{TL}{Gd^4}$     라. 약  $360 \times \frac{TL}{Gd^4}$

해설 :  $\theta = \frac{TL}{GI_p} = \frac{32TL}{\pi Gd^4}$  [rad], 구하는 것은 degree이므로  $\frac{32}{\pi} \cdot \frac{180}{\pi} \approx 584$

2003 조선기사

5. 내경이 30mm이고 외경이 42mm인 중공축이 100kW의 동력을 전달하는데 이용된다. 전단응력이 50MPa를 초과하지 않도록 축의 회전진동수를 구하면 몇 Hz인가?

- 가. 26.6    나. 29.6    다. 33.4    라. 37.8

해설 :  $T = 974 \cdot 9.8 \cdot \frac{H_{kw}}{N} = \tau \frac{\pi d^3}{16} (1 - x^4)$ 에서  $N = 1774$ ,  $f = \frac{w}{2\pi} = \frac{N}{60} = 29.6$

2009 조선기사

6. 재료와 단면이 같은 두 축의 길이가 각각 1과 2일 때 길이가 1인 축에 비틀림 모멘트 T가 작용하고 길이가 2인 축에 비틀림 모멘트 2T가 각각 작용한다면 비틀림각의 크기 비는?

- 가. 1:2    나. 1:4    다.  $1:\sqrt{2}$     라.  $1:2\sqrt{2}$

해설 :  $\theta \propto TL$ 이므로 1:4가 된다.

2009 조선기사

7. 외경이  $d_0$ 이고 내경이  $d_i$ 인 중공축에 비틀림 모멘트 T가 가해져서 최대 비틀림 응력  $\tau$ 가 발생하였다면 이때 T는 어떻게 표현되겠는가?

- 가.  $\frac{\pi\tau(d_0^4 - d_i^4)}{8d_0}$     나.  $\frac{\pi\tau(d_0^4 - d_i^4)}{16d_0}$     다.  $\frac{\pi\tau(d_0^4 - d_i^4)}{24d_0}$     라.  $\frac{\pi\tau(d_0^4 - d_i^4)}{32d_0}$

해설 :  $T = \tau \cdot Z_p = \tau \frac{\frac{\pi}{32}(d_0^4 - d_i^4)}{\frac{d_0}{2}} = \frac{\pi\tau(d_0^4 - d_i^4)}{16d_0}$

2009 조선기사

8. 회전수 250rpm으로 동력 30kW를 전달할 수 있는 전동축의 최소 지름을 구하면 몇 cm 인가?  
(단, 허용 전단응력은 30 MPa이다.)

- 가. 5.0    나. 5.8    다. 6.1    라. 6.7

해설 :  $T = \tau \frac{\pi d^3}{16} = 974 \cdot 9.8 \frac{H_{kW}}{N}$  으로 구하면  $d=5.8\text{cm}$

2006 조선산업기사

9. 500rpm 에서 10kW를 전달하고 있는 축에 작용하는 비틀림 모멘트는 몇 N\*m 인가?

- 가. 143    나. 191    다. 383    라. 1432

해설 :  $T = 974 \cdot 9.8 \frac{10}{500} = 191 N \cdot m$

# Section 015 보의 굽힘

## 1. 보의 굽힘

### (1) 보의 종류

- ① 정정보 : 외팔보, 단순보, 내다지보(돌출보)
- ② 부정정보 : 고정보(양단고정보), 고정받침보(일단고정 타단지지보), 연속보

### (2) 전단력선도와 굽힘 모멘트 선도

- ① 전단력선도(Shearing Force Diagram, SFD)
- ② 굽힘 모멘트 선도(Bending Moment Diagram, BMD)
- ③ 집중하중 => SFD : 수평선, BMD : 1차 직선
- ④ 등분포하중 => SFD : 1차 직선, BMD : 2차 직선
- ⑤ 경사분포하중 => SFD : 2차 직선, BMD : 3차 직선

(3) 분포하중(단위길이당 하중)  $w = \frac{dF}{dx} = \frac{d^2M}{dx^2}$  [N/m]

### (4) 문제 푸는 방법

- ① 반력  $R_A$ 를 구한다.
- ② 그 것을 바탕으로  $F_x$ 를 구한다. (SFD 참고)
- ③ 외팔보는 고정단, 단순보는  $F_x = 0$  지점에서 모멘트가 최대이다.
- ④  $M_x$ 를 구한다. 집중하중일 경우에는  $x$ 를, 등분포하중은  $x/2$ 를 거리변수로 곱한다.

(4) 외팔보 : 고정단에서 최대 굽힘 모멘트 발생, 자유단에서의 굽힘 모멘트는 0

① 자유단 집중하중

$$R_B = P, F_x = -P, F_{\max} = P = R_B, M_x = -Px, M_{\max} = PL$$

② 등분포하중

$$R_B = wL, F_x = -wx, F_{\max} = wL = R_B, M_x = -\frac{wx^2}{2}, M_{\max} = \frac{wL^2}{2}$$

③ 경사분포하중

$$R_B = \frac{w_0L}{2}, F_x = -\frac{w_0x^2}{2L}, F_{\max} = \frac{w_0L}{2}, M_x = \frac{w_0x^2}{2L} \cdot \frac{x}{3} = \frac{w_0x^3}{6L}, M_{\max} = \frac{w_0L^2}{6}$$

④ 자유단 우력 모멘트

$$M_R(\text{저항모멘트, 고정단}) = M_A = M_0, \text{전단력 } F=0, \text{최대굽힘모멘트 } M_{\max} = M_A = M_0$$

SFD :  $y=0$  인 수평선, BMD : (-)의 수평선

(5) 단순보 :  $F_x = 0$ 에서 최대 굽힘모멘트 발생

① 중앙 집중하중 (L/2에서  $F_x = 0$ 이다.)

$$R_A = \frac{1}{2}P, F_x = \frac{1}{2}P, F_{\max} = \frac{1}{2}P, M_x = \frac{1}{2}Px, M_{\max} = \frac{PL}{4}$$

② 등분포하중 (L/2에서  $F_x = 0$ 이다.)

$$R_A = \frac{wL}{2}, F_x = \frac{wL}{2} - wx, F_{\max} = \frac{wL}{2}, M_x = \frac{wL}{2}x - wx\frac{x}{2}, M_{\max} = \frac{wL^2}{8}$$

③ 경사분포하중

$$R_A = \frac{w_0L}{6}, F_x = \frac{w_0L}{6} - \frac{w_0x^2}{2L}, F_{\max} = R_B = \frac{w_0L}{3}, M_x = \frac{w_0L}{6}x - \frac{w_0x^2}{2L} \cdot \frac{x}{3}$$

$$F_x = 0 \text{ 일 때 } x = L/\sqrt{3} \text{ 이므로 } M_{\max} = \frac{w_0L^2}{9\sqrt{3}}$$

(6) 내다지보(돌출보)

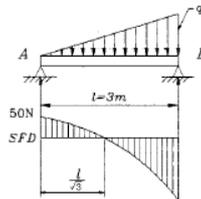
- ① 좌우대칭의 기본을 먼저 생각한다.
- ② 좌우 반력  $R_A, R_B$ 는 지점에서의 모멘트를 이용해서 구한다.
- ③ 굽혀지는 것을 상상하여 하중에 따라 SFD를 생각해본다.
- ④ 어느 지점의 힘을 구할 때는 단순보와 마찬가지로 구하면 된다.
- ⑤ 어느 지점의 모멘트를 구할 때는 그 지점의 우측부분을 생각하여 구한다.

## 2. 기출문제

### 2004 조선산업기사

1. 그림과 같은 분포하중을 받는 단순보에서 B지점에서의 하중의 세기  $q$ 는 몇 N/m인가?

- 가. 50  
나. 75  
다. 100  
라. 150



해설 : 경사분포하중에서  $R_A = \frac{ql}{6} = \frac{q}{2} = 50, q = 100N/m$

### 2004 조선기사

2. 길이가  $l=6m$ 인 단순보 위에 균일 분포하중  $w=2000N/m$ 가 작용하고 있을 때 최대굽힘 모멘트의 크기는?

- 가.  $7000 N \cdot m$     나.  $8000 N \cdot m$     다.  $9000 N \cdot m$     라.  $10000 N \cdot m$

해설 :  $F_x = \frac{wl}{2} - wx, M_x = \frac{wl}{2}x - \frac{wx^2}{2}, M_{max} = \frac{wl^2}{8} = 9000 N \cdot m$

### 2003 조선산업기사

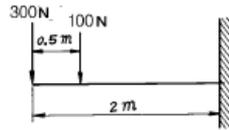
3. 보에서 정역학적 평형조건만으로 지점반력을 구할 수 있는 보를 정정보라고 한다. 다음 중 정정보가 아닌 것은?

- 가. 단순보    나. 돌출보    다. 외팔보    라. 연속보

2002 조선산업기사

4. 그림과 같이 길이 2m인 외팔보에 300N, 100N의 2개의 집중하중이 작용하고 있을 때 고정단에 생기는 굽힘모멘트의 크기는 몇  $N \cdot m$ 인가?

- 가. 100
- 나. 400
- 다. 700
- 라. 750

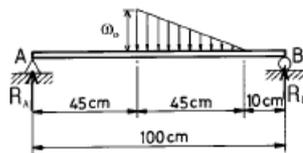


해설 :  $\sum M = 300 \cdot 2 + 100 \cdot 1.5 = 750$

2002 조선산업기사

5. 그림과 같이 삼각형 분포하중을 받는 단순보가 있다. A단에서의 반력  $R_A$ 는 몇 N인가?  
(단,  $w_0 = 800N/m$ )

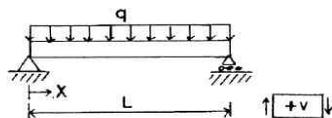
- 가. 24
- 나. 36
- 다. 54
- 라. 72



해설 :  $R_A = \frac{1}{L}(0.4L \cdot \frac{0.45w_0L}{2}) = 72N$

2009 조선기사

6. 다음 그림과 같이 보에 분포하중 q가 작용할 때 전단력선도(shear force diagram)로 옳바른 것은?



- 가.
- 나.
- 다.
- 라.

해설 : 등분포하중이므로 전단력선도는 1차 직선을 가지므로 답은 가.

2003 조선기사

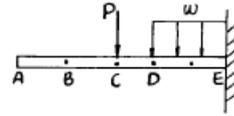
7. 다음 그림에 대한 설명 중 틀린 것은?

가. A, B, C점의 기울기는 전부 같다.

나. 구간 CD에서의 전단력은 선형으로 변화한다.

다. E점의 경사각은 0이다.

라. CD 구간에 작용하는 모멘트는 선형으로 변화한다.



해설 :

가. A, B, C 점에서 SFD는 0이므로 기울기는 동일하다.

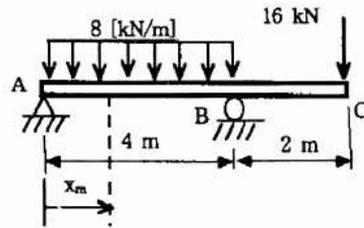
나. 구간 CD에서 전단력선도는 0이므로 변화하지 않는다.

다. E점은 고정단이므로 경사각은 0이다.

라. CD 구간에서 굽힘 모멘트선도는 1차 직선형이므로 선형으로 변화한다.

2009 조선기사

8. 그림과 같은 보에 분포 하중과 집중 하중이 동시에 작용하고 있다. 전단력이 0이 되는 위치  $x_m$ 을 구하면?



가. 0.5m

나. 1.0m

다. 1.5m

라. 2.0m

해설 :  $\sum M_B = 4R_A - 32 \cdot 2 + 16 \cdot 2 = 0, R_A = 8kN, F_x = R_A - 8x = 0, x = 1.0m$

# Section 016 보 속의 굽힘 응력

## 1. 보(Beam) 속의 굽힘 응력

(1) 응력, 모멘트, 곡률 사이의 관계

- 굽힘응력 : 한 쪽은 인장, 다른 한 쪽은 압축응력이 함께 작용한다.

-  $\epsilon = \frac{y}{\rho}$  ( $\rho$  : 곡률 반지름,  $y$  : 중립축부터 끝단까지의 거리)

-  $\sigma = E \cdot \epsilon = E \cdot \frac{y}{\rho}$  ( $\sigma$  : 굽힘 응력)

-  $M = \int y dF = \int \frac{E}{\rho} y^2 dA = \frac{E}{\rho} I_{cx}$  (EI : 굽곡 강성계수)

$\therefore \frac{E}{\rho} = \frac{\sigma}{y} = \frac{M}{I}$ , 곡률 =  $\frac{1}{\rho}$

(2) 최대 굽힘응력

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z}$$

(3) 보 속의 전단응력

$$\tau_{max} = \frac{FQ}{bI_{cx}} \quad (F : \text{최대전단력}, Q : \text{중립축에 대한 단면 1차모멘트}, b : \text{도심을 지나는 폭})$$

① 구형단면의 도심에서의 최대 전단응력  $\tau_{max} = \frac{3}{2} \frac{F}{A} = \frac{3}{2} \tau_{mean}$

② 원형단면의 도심에서의 최대 전단응력  $\tau_{max} = \frac{4}{3} \frac{F}{A} = \frac{4}{3} \tau_{mean}$

(4) 굽힘 모멘트와 비틀림 모멘트가 동시에 작용

① 상당 굽힘 모멘트  $M_e = \frac{1}{2}(M + \sqrt{M^2 + T^2})$  (M : 굽힘 모멘트, T : 비틀림 모멘트)

② 상당 비틀림 모멘트  $T_e = \sqrt{M^2 + T^2}$

(5) 축의 직경 계산

$$M_e = \sigma_{ba} \cdot Z = \sigma_{ba} \cdot \frac{\pi d^3}{32}$$

$$T_e = \tau_a \cdot Z_p = \tau_a \cdot \frac{\pi d^3}{16}$$

비틀림만을 고려할 때는 상당 굽힘 모멘트를, 굽힘만을 고려할 경우에는 상당 비틀림 모멘트를 이용하며 둘 다 고려할 경우에는 둘 중 큰 값을 직경으로 고른다.

## 2. 기출문제

### 2003 조선기사

1. 길이가 L이고 직경이 d인 축에 굽힘 모멘트 M과 비틀림 모멘트 T가 동시에 작용하고 있다면 최대 전단응력은?

가.  $\frac{4\sqrt{M^2+T^2}}{\pi d^3}$     나.  $\frac{8\sqrt{M^2+T^2}}{\pi d^3}$     다.  $\frac{12\sqrt{M^2+T^2}}{\pi d^3}$     라.  $\frac{16\sqrt{M^2+T^2}}{\pi d^3}$

해설 :  $T_e = \tau_a \cdot Z_P = \tau_a \cdot \frac{\pi d^3}{16} = \sqrt{M^2+T^2}$ ,  $\tau_a = \frac{16\sqrt{M^2+T^2}}{\pi d^3}$

### 2002 조선산업기사, 2003 조선기사

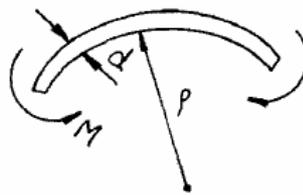
2. 보의 탄성곡선의 곡률은 어느 것인가?  
(단, M : 굽힘 모멘트, E : 탄성계수, I : 단면2차모멘트)

가.  $\frac{EI}{M}$     나.  $\frac{M}{EI}$     다.  $\frac{E}{MI}$     라.  $\frac{I}{ME}$

해설 :  $\rho = \frac{Ey}{\sigma} = \frac{ZEy}{M} = \frac{EI}{M}$  이므로 곡률  $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$

### 2009 조선기사

3. 탄성계수 E=204 GPa인 강철로 된 직경 d=10mm인 봉을 그림과 같은 곡률 반지름  $\rho = 1.5m$ 가 되도록 굽히려 한다. 이 봉을 굽히는데 필요한 굽힘 모멘트와 봉이 받는 최대 굽힘 응력은 각각 얼마인가?



- 가. 66.7 N · m, 680 MPa  
 나. 66.7 N · m, 1360 MPa  
 다. 33.4 N · m, 680 MPa  
 라. 33.4 N · m, 1360 MPa

해설 :  $M = \frac{EI}{\rho} = 66.7 N \cdot m$ ,  $\sigma = \frac{M}{Z} = 680 MPa$

2002 조선산업기사

4. 지름 4cm, 길이 1m인 연강의 한 끝을 고정하고 다른 끝에 588 N·m의 비틀림 모멘트가 작용할 때 이 봉에 생기는 최대 전단응력은 몇 MPa인가?

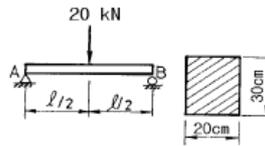
- 가. 36.82      나. 46.82      다. 56.28      라. 66.28

해설 :  $\tau = \frac{T}{Z_P} = \frac{16T}{\pi d^3} = 46.82 \text{ MPa}$

2002 조선산업기사

5. 그림과 같은 단면을 갖는 단순보의 중앙에 집중하중 20kN이 작용할 때 최대 전단응력은 몇 MPa인가?

- 가. 0.25  
나. 0.3  
다. 0.35  
라. 0.52

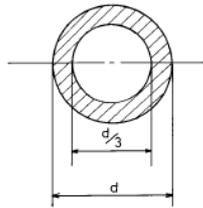


해설 :  $F_{max} = R_A = 10kN, \tau_{max} = \frac{3}{2} \frac{F_{max}}{A} = 0.25 \text{ MPa}$

2004 조선기사

6. 바깥지름 d, 안지름 d/3인 중공원형 단면의 굽힘에 대한 단면계수는?

- 가.  $\frac{5\pi d^3}{9}$   
나.  $\frac{5\pi d^3}{81}$   
다.  $\frac{5\pi d^3}{162}$   
라.  $\frac{5\pi d^3}{324}$

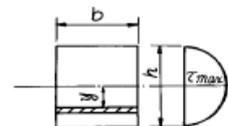


해설 :  $Z = \frac{\pi d^3}{32} (1 - (1/3)^4) = \frac{5\pi d^3}{162}$

2004 조선기사

7. 사각형 단면의 전단응력 분포에 있어서 최대 전단응력은 전단력을 단면적으로 나눈 평균 전단응력보다 얼마나 더 큰가?

- 가. 30%      나. 40%      다. 50%      라. 60%



2004 조선기사

8. 길이 90cm, 지름 8cm의 외팔보의 자유단에 2 kN의 집중하중이 작용하는 동시에 150 N·m의 비틀림 모멘트도 작용할 때 외팔보에 작용하는 최대 전단응력은 몇 MPa인가?

- 가. 15      나. 16      다. 17      **라. 18**

해설 :  $M = 2000 \cdot 0.9 = 1800 N \cdot m$ ,  $T_e = \sqrt{M^2 + T^2} = 1806 N \cdot m$ ,  $\tau = \frac{16T}{\pi d^3} = 18 MPa$

2004 조선산업기사

9. 원형 단면보에 같은 전단력이 작용할 때 원형 단면보의 지름을 3배로 하면 최대 전단응력은 몇 배나 되는가?

- 가. 9      나. 3      다. 1/3      **라. 1/9**

해설 :  $\tau \propto \frac{1}{A} \sim \frac{1}{d^2}$  이므로 지름을 3배로 하면 1/9배가 된다.

2003 조선산업기사

10. 단면이 정사각형인 보에 4200 N·m의 굽힘 모멘트가 가해지고 있다. 보의 허용 굽힘응력을 100MPa라고 할 때 단면에서 한 변의 치수는 몇 cm인가?

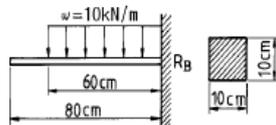
- 가. 6.32**      나. 8.32      다. 10.32      라. 12.32

해설 :  $Z = \frac{M}{\sigma} = \frac{b^3}{6}$ ,  $b = 6.32 cm$

2003 조선산업기사

11. 외팔보에서 그림과 같은 하중이 작용할 때 고정단의 굽힘응력은 몇 MPa인가?  
(단, 한 변의 길이는 10cm의 정사각형 단면이다.)

- 가. 14  
**나. 10.8**  
다. 27  
라. 28



해설 :  $M = w \cdot 0.6 \cdot 0.3 = 1800 N \cdot m$ ,  $\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{6M}{b^3} = 10.8 MPa$

2006 조선산업기사

12. 굽힘 모멘트 M과 비틀림 모멘트 T를 동시에 받는 축의 등가 굽힘 모멘트  $M_e$ 의 식으로 옳은 것은?

- 가.  $M_e = \frac{1}{2}M + \sqrt{M^2 + T^2}$     나.  $M_e = \frac{1}{2}M + \frac{1}{2}\sqrt{M^2 + T^2}$   
 다.  $M_e = \frac{1}{2}\sqrt{M^2 + T^2}$     라.  $M_e = M + \frac{1}{2}\sqrt{M^2 + T^2}$

2006 조선산업기사

13. 밑변 20cm, 높이 30cm인 직사각형 단면의 단순보 중앙에는 몇 kN의 하중을 허용할 수 있는가?  
 (단, 허용 전단응력은 500kPa이다.)

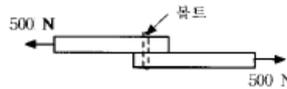
- 가. 40            나. 35            다. 30            라. 25

해설 :  $\tau_{max} = \frac{3}{2} \frac{F}{A} = \frac{3}{2} \frac{P}{2A}, P = \frac{4bh\tau}{3} = 40 kN$

2004 조선기사

14. 그림과 같은 두 개의 판재가 볼트로 체결된 채 500 N의 인장력을 받고 있다. 볼트의 중간단면에 작용하는 평균 전단응력은?  
 (단, 볼트의 지름은 1 cm이다.)

- 가. 5.25 MPa            나. 6.37 MPa  
 다. 7.43 MPa            라. 8.76 MPa

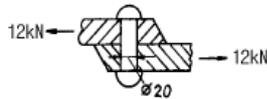


해설 :  $\tau = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi d^2} = 6.37 MPa$

2003 조선기사

15. 그림에서 인장력 12kN이 작용할 때 지름 20mm인 리벳 단면에 일어나는 전단 응력은 몇 MPa인가?

- 가. 68.2  
 나. 38.2  
 다. 23.8  
 라. 32.0



해설 :  $\tau = \frac{4P}{\pi d^2} = 38.2 MPa$

2003 조선기사

16. 지름 4cm의 둥근봉 펀치다이스에서 두께 t=1cm의 강판에 펀칭구멍을 뚫을 때, 판의 전단강도가  $\tau_u = 400 MPa$ 라면 펀치 해머에 가해져야 하는 펀칭력은 몇 kN인가?

- 가. 251.5            나. 502.6            다. 754.5            라. 1006

해설 :  $T = \tau_u \cdot A = \tau_u \cdot \pi dt = 502.6 kN$

2003 조선기사

17. 배의 중앙부에서 굽힘모멘트가 80000 ton·m, 갑판부의 단면계수가 2000m<sup>3</sup>, 중립축에서 갑판까지의 거리가 4m라면, 갑판에 작용하는 응력은?

가. 10 ton/m<sup>2</sup>      나. 40 ton/m<sup>2</sup>      다. 20 ton/m<sup>2</sup>      라. 160 ton/m<sup>2</sup>

해설 :  $\sigma = \frac{M}{Z} = 40 \text{ ton/m}^2$

# Section 017 보의 처짐

## 1. 보의 처짐

(1) 탄성곡선의 미분방정식

탄성 곡선(처짐 곡선)의 미분 방정식  $\frac{d^2y}{dx^2} = \pm \frac{M(x)}{EI}$  (부호 양+ 음-)

$$\text{처짐각 } \theta = \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{EI} \int M(x) dx$$

$$\text{처짐량 } \delta = y = -\frac{1}{EI} \int \int M(x) dx dx$$

$$\text{전단력 } EI \frac{d^3y}{dx^3} = -\frac{dM(x)}{dx} = -F(x)$$

$$\text{분포하중 } EI y^{(4)} = -\frac{d^2M}{dx^2} = -w(x)$$

(2) 면적 모멘트법 - 모어의 정리

$$A_m = \int_A^B M dx : \text{BMD 선도의 면적}$$

$$\theta = \frac{A_m}{EI} [\text{rad}]$$

$$\delta = \frac{A_m}{EI} \bar{x}$$

(3) 도심까지의 거리 및 BMD의 면적

① 직사각형(구형)  $A_m : bh, \bar{x} : \frac{b}{2}$     ② 삼각형 :  $A_m : \frac{bh}{2}, \bar{x} : \frac{2}{3}b$

③ 볼록2차곡선(단순보 등분포하중)  $A_m : \frac{2bh}{3}, \bar{x} : \frac{5}{8}b$

④ 오목2차곡선(외팔보 등분포하중)  $A_m : \frac{bh}{3}, \bar{x} : \frac{3}{4}b$

⑤ 오목3차곡선  $A_m : \frac{bh}{4}, \bar{x} : \frac{4}{5}b$

(4) 탄성에너지

$$U = \frac{1}{2}P\delta = M\theta$$

(5) 중첩법 (매우 중요)

여러 개의 하중이 있는 경우 처짐각과 처짐량을 각각 구해서 합산한다.

(6) 외팔보

① 자유단 집중하중

$$A_m = \frac{PL^2}{2}, \theta = -\frac{PL}{2EI}, \delta = \theta \cdot \frac{2L}{3} = \frac{PL^3}{3EI}$$

② 등분포하중

$$A_m = \frac{wL^3}{6}, \theta = -\frac{wL^2}{6EI}, \delta = \theta \cdot \frac{3}{4}L = \frac{wL^4}{8EI}$$

③ 자유단 우력

$$A_m = M_0L, \theta = \frac{M_0L}{EI}, \delta = \theta \cdot \frac{L}{2} = \frac{M_0L^2}{2EI}$$

(7) 단순보

① 중앙 집중하중

$$A_m = \frac{PL^2}{16}, \theta = \frac{PL}{16EI}, \delta = \theta \cdot \frac{L}{3} = \frac{PL^3}{48EI}$$

② 등분포하중

$$A_m = \frac{wL^3}{24}, \theta = \frac{wL^2}{24EI}, \delta = \theta \cdot \frac{5}{16}L = \frac{5wL^4}{384EI}$$

③ 경사분포하중

$$\delta = \frac{1}{2} \frac{5wL^4}{384EI} = \frac{5wL^4}{768EI} \text{ (경사분포하중의 하중은 등분포하중의 절반이기 때문)}$$

(8) 외팔보 중앙 집중하중 등 기타 문제는 모두 BMD를 그린 후 공식에 대입하며 하중이 여러 개인 경우 중첩법을 이용해서 해결한다.

(9) 처짐량 비교

① 단순보 중앙집중하중  $\delta = \frac{PL^3}{48EI}$     ② 양단고정보 중앙집중하중  $\delta = \frac{PL^3}{192EI}$

③ 단순보 등분포하중  $\delta = \frac{5wL^4}{384EI}$     ④ 양단고정보 등분포하중  $\delta = \frac{wL^4}{384EI}$

## 2. 기출문제

### 2006 조선산업기사

1. 단순보의 중앙에 집중하중 P가 작용할 때 최대처짐은?  
(단, EI:강성계수, L:보의 길이)

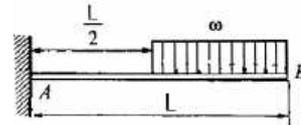
가.  $(PL^3)/24EI$  나.  $(PL^3)/48EI$  다.  $(PL^3)/8EI$  라.  $(PL^3)/3EI$

해설 : BMD선도를 그려보면  $A_m = \frac{PL^2}{16}$ ,  $\delta = \frac{PL^2}{16EI} \cdot \frac{1}{3}L = \frac{PL^3}{48EI}$

### 2009 조선기사

2. 외팔보 AB가 그림과 같이 부분적인 등분포하중 w를 받을 때 자유단의 처짐( $\delta_B$ )은?  
(단, 보의 굽힘 강성 EI는 일정하고, 자중은 무시한다.)

가.  $\frac{71wL^4}{384EI}$  나.  $\frac{61wL^4}{384EI}$  다.  $\frac{51wL^4}{384EI}$  라.  $\frac{41wL^4}{384EI}$



해설 : 중첩법을 활용하여 구한다.  $\delta = \frac{wL^4}{8EI} - \frac{7wL^4}{384} = \frac{41wL^4}{384}$

### 2009 조선기사

3. 길이가 L인 연강재 단순보(simple beam)의 중앙에 집중하중 P가 작용하고 있다. 중앙 부분의 처짐이  $\delta$ 였다면 연강재의 지름 d는?  
(단, 연강재의 탄성계수는 E 이다.)

가.  $d = \sqrt[4]{\frac{3PL^3}{2\pi E\delta}}$  나.  $d = \sqrt[4]{\frac{3PL^3}{4\pi E\delta}}$  다.  $d = \sqrt[4]{\frac{2PL^3}{3\pi E\delta}}$  라.  $d = \sqrt[4]{\frac{4PL^3}{3\pi E\delta}}$

해설 :  $\delta = \frac{PL^3}{48EI} = \frac{64PL^3}{48E\pi d^4}$ ,  $d = \sqrt[4]{\frac{4PL^3}{3E\pi\delta}}$

### 2003 조선산업기사

4. 단면 b(폭) x h(높이) = 3cm x 4cm, 길이 40cm인 외팔보의 자유단에 300N의 집중하중이 작용하면 자유단에서의 최대처짐은 몇 cm인가?  
(단, 탄성계수 E=200GPa이다.)

가. 0.01 나. 0.02 다. 0.04 라. 0.08

해설 :  $\delta = \frac{PL^3}{3EI} = \frac{12PL^3}{3Ebh^3} = 0.02 \text{ cm}$

2004 조선기사

5. 보의 전 길이에 걸쳐 균일 분포하중이 작용하고 있는 단순보와 양단이 고정된 양단 고정보에서 중앙에서의 처짐량의 비는?

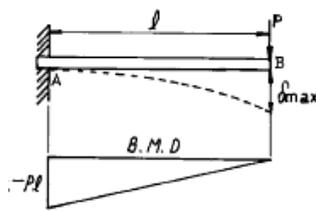
- 가. 2:1      나. 3:1      다. 4:1      라. 5:1

2004 조선기사

6. 그림과 같이 집중하중 P를 받는 외팔보가 있다. 모멘트선도가 그림과 같을 때 B점에서의 처짐은?

(단, E는 탄성계수, I는 단면 2차 모멘트이다.)

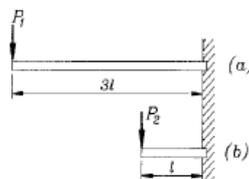
- 가.  $\frac{2Pl^3}{3EI}$   
 나.  $\frac{Pl^3}{EI}$   
 다.  $\frac{Pl^3}{6EI}$   
 라.  $\frac{Pl^3}{3EI}$



2004 조선산업기사

7. 단면의 크기가 같고 재질이 같은 그림 (a), (b) 두 외팔보의 자유단에 최대 처짐량이 같게 되려면 집중하중의 크기 P<sub>2</sub>는 P<sub>1</sub>의 몇 배 인가?

- 가. 3  
 나. 9  
 다. 18  
 라. 27



해설 :  $\delta = \frac{9P_1l^3}{EI} = \frac{P_2l^3}{3EI}$  이므로 27배가 되어야 한다.

# Section 018 기둥의 편심하중과 좌굴

## 1. 기둥

(1) 편심하중 : 압축하중과 굽힘 모멘트가 함께 작용하는 것과 같다.

① 압축응력  $\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$

② 굽힘모멘트  $M = Pa$

③ 최대 압축응력  $\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z}$

④ 최소 압축응력  $\sigma_{\min} = \frac{P}{A} - \frac{M}{Z}$

⑤ 가로축이  $y$ 축, 세로축(아래방향)이  $x$ 축이다. (중요)

(2) 단면의 핵

- 기둥은 인장응력에 의해 파괴되기 때문에 압축응력만 일어나고 인장응력은 일어나지 않는 범위를 단면의 핵이라고 한다.

① 구형단면의 핵심  $-\frac{h}{6} \leq a \leq \frac{h}{6}$

② 원형단면의 핵심  $-\frac{d}{8} \leq a \leq \frac{d}{8}$

(3) 세장비( $x$ 축이 아래 방향,  $y$ 축이 오른쪽 방향이라는 것에 유의 즉  $b \cdot h$ 가 아니라  $h \cdot b$ )

① 좌굴(Buckling) : 압축력에 의한 휨으로 인해 파괴되는 현상

② 좌굴하중(임계하중) : 좌굴현상을 일으키는 최대 하중

③ 좌굴응력(임계응력) : 좌굴현상을 일으키는 최대 응력

④ 오일러공식 : 압축변형은 무시하고 굽힘변형만을 고려

⑤ 골든-랭킨식 : 압축변형과 굽힘변형 모두를 고려

⑥ 세장비(Slenderness Ratio, 가느다란 정도를 표시)  $\lambda = \frac{L}{K}$ ,  $K = \sqrt{\frac{I}{A}}$ , ( $K$  : 회전반경)

⑦ 유효세장비  $\lambda_e = \frac{L_k}{K}$ ,  $L_k = \frac{L}{\sqrt{n}}$

⑧  $L/K$ 의 길이에 따라서 0~50 : 단주, 50~100 : 중간주, 100~ : 장주

(4) 임계하중(좌굴하중)

$$P_{cr} = \frac{n\pi^2 EI}{L^2}, \quad I : \text{도심에 대한 최소 단면 2차 모멘트 (매우 중요)}$$

(5) 단말계수(n)의 결정

- ① 일단고정 타단자유 기둥 : 1/4
- ② 양단회전 기둥 : 1
- ③ 일단고정 타단회전 기둥 : 2
- ④ 양단고정 기둥 : 4

(6) 임계응력(좌굴응력)

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{n\pi^2 E}{\lambda^2}$$

(7) 압축하중의 위치에 따른 응력분포

(4가지 분류로 외울 것 - 직사각형 분포에서 시작해 우측하단 끝을 내린다는 느낌)

- ① 단면의 중심 : 직사각형 분포
- ② 중심과 핵 사이
- ③ 핵
- ④ 핵심 밖

## 2. 기출문제

2004 조선산업기사

1. 바깥지름 5 cm, 안지름 2 cm, 길이 3 m의 중공기둥의 세장비는 약 얼마인가?

가. 158      나. 183      **다. 223**      라. 298

해설 :  $\lambda = L \frac{4}{\sqrt{d^2 + d_1^2}} = 223$

2004 조선기사

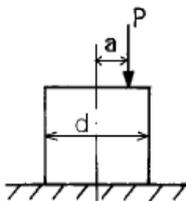
2. 직경이 d인 짧은 환봉(丸棒)의 축방향에서 P인 편심 압축하중이 작용할 때 단면상에서 인장 응력이 일어나지 않는 a의 범위는?

가. 반경이  $\frac{d}{8}$ 인 원내에

나. 반경이  $\frac{d}{8}$ 인 원밖에

다. 반경이  $\frac{d}{4}$ 인 원내에

라. 반경이  $\frac{d}{4}$ 인 원밖에



2003 조선기사

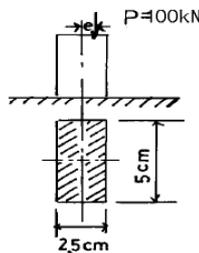
3. 양단이 핀으로 고정되어 있고, 정사각형의 단면 25 mm x 25 mm, 길이 1.8m인 기둥에서의 오일러식에 의한 임계하중은 몇 kN인가?  
(단, 탄성계수 E=70GPa이다.)

- 가. 1.302      나. 2.604      다. 3.470      **라. 6.941**

해설 :  $n = 1, P_{cr} = \frac{n\pi^2 Ea^4}{12L^2} = 6.941 kN$

2002 조선산업기사

4. 그림과 같은 직사각형 단면의 단주 기둥에 e=2mm의 편심 거리에 P=100kN의 압축하중이 작용할 때 발생하는 최대 압축응력을 구하면 몇 MPa인가?

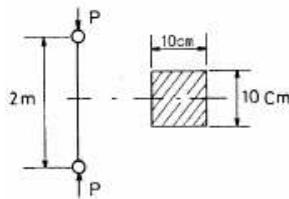


- 가. 89.8  
나. 91.4  
다. 102.5  
**라. 118.4**

해설 :  $\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} = \frac{P}{bh} + \frac{6Pe}{bh^2} = 118.4 MPa$

2009 조선기사

5. 그림과 같이 10cm x 10cm의 단면적을 갖고 양단이 회전단으로된 부재가 중심축 방향에 압축력 P가 작용하고 있을 때 장주의 길이가 2m라면 세장비는?



- 가. 890  
**나. 69**  
다. 49  
라. 29

해설 :  $\lambda = \frac{L}{K} = L\sqrt{\frac{A}{I}} = \frac{2L\sqrt{3}}{a} = 69$

2004 조선기사

6. 화물창 내에 설치된 기둥(pillar)의 좌굴하중을 가장 크게 하는 경계조건은?

- 가. 상하 양단을 힌지 조인트로 한다.  
나. 하단은 고정으로 하고 상단을 힌지 조인트로 한다.  
다. 상단은 고정으로 하고 하단을 힌지 조인트로 한다.  
**라. 상하 양단을 고정으로 한다.**

2009 조선기사

7. 다음 중 기둥의 좌굴 하중 값이 가장 큰 경우는?

가. 양단 고정의 기둥

나. 양단 힌지로 지지된 경우

다. 하단 고정이고 상단은 자유단인 경우

라. 하단 고정이고 상단은 힌지로 지지된 경우

2002 조선산업기사

8. 기둥(pillar)의 좌굴(buckling) 원인이 아닌 것은?

가. 진동 등 기타의 원인으로 축방향으로 비대칭의 힘이 작용할 때

나. 하중이 기둥 축선에 일치하지 않을 때

다. 축방향으로 인장하중이 과도하게 작용할 때

라. 재질이 불균일할 때

2006 조선산업기사

9. 그림과 같은 단면의 세장비는? (단, 길이  $l = 2m$  이다.)

(단면 = 밑변 15cm, 높이 30 cm 인 직사각형 단면)

가. 46.19

나. 106.95

다. 234.38

라. 251.62

해설 :  $K = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{h}{2\sqrt{3}} = 0.043, \lambda = \frac{L}{K} = 46.19$  좌굴에서는 밑변이  $h$ , 높이가  $b$ 이다.

# Section 019 조합응력 및 모어의 원

## 1. 조합응력 및 모어(Mohr)의 원

(1) 1축응력(단축응력) \*  $\theta$ 는 수직축에서 반시계방향으로 경사진 각을 의미한다.

- 횡단면 수직응력  $\sigma_x = \frac{P}{A}$

- 경사단면 법선응력  $\sigma_n = \frac{P_n}{A_n} = \sigma_x \cos^2 \theta, (\sigma_n)_{\max} = \sigma_x, (\sigma_n)_{\min} = 0$

- 경사단면 전단응력  $\tau = \frac{P_s}{A_n} = \frac{\sigma_x}{2} \sin 2\theta, \tau_{\max} = \frac{\sigma_x}{2}, \tau_{\min} = -\frac{\sigma_x}{2}$

- 중요 포인트 : 최대응력과 최소응력은  $90^\circ$ 의 위상차를 가진다. (공액관계와 동일)

(2) 공액응력 : 서로 직교하는 단면상에 작용하는 두 응력,  $90^\circ$ 의 위상차를 가짐

- 법선응력  $\sigma_n' = \sigma_x \cos^2(\theta + 90^\circ) = \sigma_x \sin^2 \theta$

- 전단응력  $\tau' = \frac{1}{2} \sigma_x \sin(2(\theta + 90^\circ)) = -\frac{1}{2} \sigma_x \sin 2\theta$

- 공액응력의 합  $\sigma_n + \sigma_n' = \sigma_x, \tau + \tau' = 0$

- 공액응력에서 전단력의 합은 항상  $\tau + \tau' = 0$ 이다.

(3) 모어의 원 그리기

- 중심좌표  $\frac{1}{2}(\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) = \frac{\sigma_x}{2}$

- 반직경(반지름)  $R = \frac{\sigma_x}{2} = \tau_{\max}$

- 법선응력과 전단응력의 크기가 같은 위치  $\theta = 45^\circ$

- 공액법선응력과 공액전단응력의 크기가 같은 위치  $\theta = 135^\circ$

① x축을 법선응력(수직응력), y축을 접선응력(전단응력)으로 좌표계를 설정한다.

② 중심좌표와 반지름으로 원을 그린다.

③  $\theta = 0$ 을 기준으로 반시계방향으로  $2\theta$ 만큼 회전시킨 경사단면을 잡아준다.

④ 해당 경사단면에서의 법선응력과 전단응력을 표시하고 공액단면의 것도 표시한다.

⑤ 최대, 최소 전단응력의 위치를 표시한다.

(4) 2축응력( $\sigma_x, \sigma_y$ )

- 법선응력  $\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta, (\sigma_n)_{\max} = \sigma_x [\theta = 0^\circ], (\sigma_n)_{\min} = \sigma_y [\theta = 90^\circ]$

- 전단응력  $\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta, \tau_{\max} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} [\theta = 0^\circ], \tau_{\min} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} [\theta = 90^\circ]$

(5) 주평면과 주응력

① 주평면(주면) : 전단응력이 작용하지 않고 수직응력만 존재하는 평면

② 주응력 : 주평면상에 작용하는 수직응력

$$\sigma_1 = (\sigma_n)_{\max} = \sigma_x, \sigma_2 = (\sigma_n)_{\min} = \sigma_y$$

(6) 2축 공액응력

- 법선응력  $\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta$

- 전단응력  $\tau = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta$

- 공액응력의 합  $\sigma_n + \sigma_n' = \sigma_x + \sigma_y, \tau + \tau' = 0$

(7)  $\sigma_x = \sigma_y$ 의 이축응력 상태

- 법선응력  $\sigma_n = \sigma_n' = \sigma_x, (\sigma_n)_{\max} = (\sigma_n)_{\min} = \sigma_x$

- 전단응력  $\tau = \tau' = 0, \tau_{\max} = \tau_{\min} = 0$

- 모어의 원 : 한 점으로 표시 (전단응력 = 반지름 = 0)

(8)  $\sigma_x = -\sigma_y, \theta = 45^\circ \Rightarrow$  순수전단상태(법선응력이 0인 경우)

- 법선응력  $\sigma_n = \sigma_n' = 0, (\sigma_n)_{\max} = \sigma_x, (\sigma_n)_{\min} = \sigma_y$

- 전단응력  $\tau = \tau_{\max} = \sigma_x = -\sigma_y [\theta = 45^\circ], \tau' = \tau_{\min} = -\sigma_x = \sigma_y [\theta = 135^\circ]$

## 2. 조합응력을 받는 부재의 변형률

(1) 3축응력상태(x, y, z단면에 각각  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 의 인장응력이 작용하는 상태)

$$\epsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)), \quad \epsilon_y, \epsilon_z \text{도 같은 식으로 구하면 된다.}$$

(2) 균일응력상태( $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z, \epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z$ )

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}(1 - 2\mu), \quad \epsilon_V = 3\epsilon = \frac{3\sigma}{E}(1 - 2\mu) = \frac{\sigma}{K}$$

(3) 체적탄성계수와 종탄성계수의 관계

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)} = \frac{mE}{3(m - 2)}$$

(4) 2축응력 상태에서 변형률과 응력 사이의 관계

$$\epsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y), \quad \epsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x)$$

$$\therefore \sigma_x = \frac{E(\epsilon_x + \mu\epsilon_y)}{1 - \mu^2}, \quad \sigma_y = \frac{E(\epsilon_y + \mu\epsilon_x)}{1 - \mu^2} \quad (\text{Hook's law})$$

(5) 종탄성계수와 횡탄성계수 사이의 관계

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \frac{mE}{2(m + 1)}$$

(6) 일반적으로 종변형률( $\epsilon$ )은 전단변형률( $\gamma$ )의 1/2이다.

(7) 내압을 받는 얇은 원통의 이축응력

$$\textcircled{1} \quad \sigma_t = \frac{PD}{2t}, \quad \sigma_z = \frac{PD}{4t}$$

$$\textcircled{2} \quad \text{경사단면} \quad \sigma_n = \frac{\sigma_t + \sigma_z}{2} + \frac{\sigma_t - \sigma_z}{2} \cos 2\theta, \quad \tau = \frac{\sigma_t - \sigma_z}{2} \sin 2\theta, \quad \tau_{\max} = \frac{1}{2} \left( \frac{PD}{2t} - \frac{PD}{4t} \right)$$

$$\textcircled{3} \quad \text{변형률} \quad \epsilon_t = \frac{1}{E}(\sigma_t - \mu\sigma_z), \quad \epsilon_z = \frac{1}{E}(\sigma_z - \mu\sigma_t)$$

### 3. 구형요소에 작용하는 평면 응력

$\tau_{xy}$  : 횡단면(x축에 수직)에 작용하는 전단응력,  $\tau_{yx}$  : 종단면에 작용하는 전단응력  
(부호 : 왼쪽 윗 모서리에 모이면 (+), 오른쪽 윗 모서리에 모이면 (-))

(1) 경사면에 작용하는 법선응력  $\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta$

(2) 경사면에 작용하는 전단응력  $\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$ ,  $\tau_{xy} = -\tau_{yx}$

(3) 최대 법선응력이 작용하는 위치(최대 주응력이 발생하는 단면, 주평면의 위치)

$\frac{\partial \sigma_n}{\partial \theta} = 0$ 을 이용,  $\tan 2\theta = -\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$ , 최소 위치는 공액응력이므로  $+90^\circ$

(4) 최대, 최소 주응력 및 전단응력

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{\max, \min} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

(5) 공액응력의 합

$$\sigma_n + \sigma_n' = (\sigma_n)_{\max} + (\sigma_n)_{\min} = \sigma_x + \sigma_y$$

$$\tau + \tau' = \tau_{\max} + \tau_{\min} = 0$$

(6) 모어의 응력원

① 중심좌표  $\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}, 0\right)$

② 반지름  $R = \tau_{\max}$

(7) 최대, 최소 변형률

① 종변형률  $\epsilon_{\max, \min} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2}$ ,  $\epsilon = \frac{\gamma}{2}$  를 이용

② 전단변형률  $\gamma_{\max, \min} = \pm \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}$

#### 4. 기출문제

##### 2009 조선기사

1. 평면 변형을 상태에 있는 재료의 한 요소가 다음과 같은 변형을 성분을 가지고 있다.

$$\epsilon_x = -200 \cdot 10^{-6}, \epsilon_y = 1000 \cdot 10^{-6}, \gamma_{xy} = 900 \cdot 10^{-6}$$

최대 주변형률은?

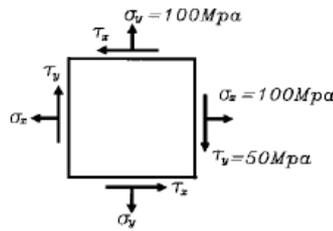
- 가.  $550 \times 10^{-6}$     나.  $1150 \times 10^{-6}$     다.  $1600 \times 10^{-6}$     라.  $1930 \times 10^{-6}$

해설 :  $\epsilon_{\max} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2} = 1150 \cdot 10^{-6}$

##### 2003 조선산업기사

2. 그림과 같은 평면 응력상태에서 최대 전단 응력과 최대 수직 응력은 각각 몇 MPa인가?

- 가.  $\tau_{\max} = 100, \sigma_{\max} = 150$   
 나.  $\tau_{\max} = 50, \sigma_{\max} = 150$   
 다.  $\tau_{\max} = 50, \sigma_{\max} = 100$   
 라.  $\tau_{\max} = 25, \sigma_{\max} = 100$



해설 : 최대, 최소 주응력 식에 넣으면  $\sigma_x - \sigma_y = 0$ 이므로 간단히 풀린다.

##### 2003 조선기사

3.  $\sigma_x = 700MPa, \sigma_y = -300MPa$ 가 작용하는 평면응력 상태에서 최대 수직응력과 최대 전단응력은?

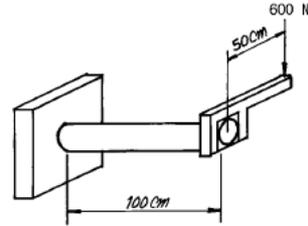
- 가.  $\sigma_{\max} = 700MPa, \tau_{\max} = 300MPa$   
 나.  $\sigma_{\max} = 600MPa, \tau_{\max} = 400MPa$   
 다.  $\sigma_{\max} = 500MPa, \tau_{\max} = 700MPa$   
 라.  $\sigma_{\max} = 700MPa, \tau_{\max} = 500MPa$

해설 :  $\sigma_{\max} = \sigma_x, \tau_{\max} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$ 이다.

2003 조선기사

4. 그림과 같이 지름 50mm의 연강봉의 일단을 벽에 고정하고, 자유단에 600N의 하중을 작용시킬 때 발생하는 주응력과 최대 전단응력은 각각 몇 MPa인가?

- 가. 주응력 : 51.8 최대전단응력 : 27.3
- 나. 주응력 : 27.3 최대전단응력 : 51.8
- 다. 주응력 : 41.8 최대전단응력 : 27.3
- 라. 주응력 : 27.3 최대전단응력 : 41.8



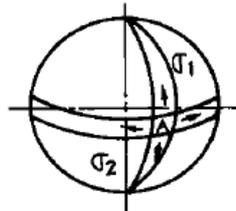
해설

- ①  $M = 1m \cdot 600N = 600N \cdot m$
- ②  $T = 0.5m \cdot 600N = 300N \cdot m$
- ③  $T_e = \sqrt{M^2 + T^2} = 670.82N \cdot m, M_e = \frac{1}{2}(M + T_e) = 635.41N \cdot m$
- ④  $\sigma = \frac{M_e}{Z} = \frac{32M_e}{\pi d^3} = 51.8 MPa, \tau_{max} = \frac{T_e}{Z_P} = \frac{16T_e}{\pi d^3} = 27.3 MPa$

2003 조선기사

5. 반지름이 r이고 벽 두께가 t인 얇은 벽의 구형 용기가 P의 균일 분포 내압을 받고 있을 때 그 벽속에 발생하는 막응력(membrane stress)은 얼마인가?

- 가.  $\frac{Pr}{t}$
- 나.  $\frac{Pr}{2t}$
- 다.  $\frac{Pr}{4t}$
- 라.  $\frac{2Pr}{t}$



해설 : 원통형에서 구했던 방식으로 구해보자. 중앙 단면부에서 원주응력(후프응력)을 생각해 보면  $P \cdot \pi r^2 = \sigma_t \cdot 2\pi r t$ 이므로  $\sigma_t = \frac{Pr}{2t}$

2004 조선산업기사

6. 단면 30cm<sup>2</sup>인 균일 원형 단면봉에 인장하중 300 kN이 작용하고 있다. 임의의 서로 직교하는 두 경사면 위에 작용하는 수직응력들의 합은 몇 MPa인가?

- 가. 50      나. 80      다. 90      라. 100

해설 : 공액응력의 합을 구하면 된다.  $\sigma_n + \sigma_n' = \sigma_x = \frac{P}{A} = 100 MPa$

## Section 020 부정정보

### 1. 부정정보 - 일단고정 타단지지보 (두 개의 외팔보의 합으로 생각)

(1) 중앙집중하중(SFD : 외팔보 중앙집중과 동일, BFD : 고정단 쪽 (-))

① 기본해석 : 중앙집중하중이 작용하는 외팔보와 자유단의 윗방향으로 반력  $R_A$ 가 작용하는 외팔보의 합으로 생각, 자유단에서의 처짐이 0으로 같음을 이용하여 구한다.

② 중앙집중하중이 작용하는 외팔보의 자유단에서의 처짐각  $\delta_1 = \frac{5PL^3}{48EI}$

③ 자유단의 윗방향으로  $R_A$ 가 작용하는 외팔보의 자유단에서의 처짐각  $\delta_2 = \frac{R_A L^3}{3EI}$

④  $\delta_1 = \delta_2$ 에서  $\frac{R_A L^3}{3EI} = \frac{5PL^3}{48}$ ,  $R_A = \frac{5}{16}P$ ,  $R_B = \frac{11}{16}P$

⑤ 고정단 저항 모멘트  $M_B = P \cdot \frac{L}{2} - R_A \cdot L = \frac{3PL}{16}$

⑥ 굽힘모멘트가 0인 지점  $x \geq L/2$ 인 경우

$$M_x = R_A x - P(x - \frac{L}{2}) = 0, x = \frac{8}{11}L$$

⑦ 중앙에서 처짐 : 탄성곡선 미분방정식에  $M(x)$ 를 대입하여 B/C를 적용한다.

$$\delta_c = \frac{5PL^3}{768EI}$$

(2) 균일 등분포하중(SFD : 등분포하중 단순보와 유사, BMD : 유사, 우측하단 (-))

① 기본해석 : 등분포하중이 작용하는 외팔보와 자유단의 윗방향으로 반력  $R_A$ 가 작용하는 외팔보의 합으로 생각, 자유단에서의 처짐이 0으로 같음을 이용하여 구한다.

② 등분포하중이 작용하는 외팔보의 자유단의 처짐각  $\delta_1 = \frac{wL^4}{8EI}$

③ 자유단의 윗방향으로  $R_A$ 가 작용하는 외팔보의 자유단에서의 처짐각  $\delta_2 = \frac{R_A L^3}{3EI}$

④  $\delta_1 = \delta_2$ 에서  $\frac{R_A L^3}{3EI} = \frac{wL^4}{8EI}$ ,  $R_A = \frac{3}{8}wL$ ,  $R_B = \frac{5}{8}wL$

⑤ 고정단 저항 모멘트  $M_B = \frac{3wL}{8}L - \frac{wL}{2} \cdot \frac{L}{2} = -\frac{wL^2}{8}$

⑥ 전단력이 0인 지점  $F_x = \frac{3}{8}wL - wx = 0$ ,  $x = \frac{3}{8}L$

⑦ 굽힘 모멘트가 0인 지점  $M_x = \frac{3wL}{8}x - \frac{wx^2}{2} = 0$ ,  $x = \frac{3}{4}L$

⑧ 전단력이 0인 지점에서의 모멘트  $M_{\max} = \frac{9wL^2}{128}$

⑨ 중앙부에서의 처짐량( $M_x$ 를 2번 적분 및 B/C 적용)  $\delta_c = \frac{wL^4}{192EI}$

## 2. 양단고정보(두 개의 단순보의 합으로 생각)

(1) 중앙집중하중(SFD : 단순보 중앙집중하중과 동일 BFD : 유사, 양쪽하단이 (-))

① 기본해석 : 중앙집중하중이 작용하는 단순보와 양단의 아랫방향으로 우력  $M_0$ 가 작용하는 단순보의 합으로 생각, 양단에서의 처짐각이 0으로 같음을 이용하여 구한다.

② 중앙집중하중이 작용하는 단순보의 양단 고정지점에서의 처짐각  $\theta_1 = \frac{PL^2}{16EI}$

③ 아랫방향으로 우력이 작용하는 단순보의 양단 고정지점에서의 처짐각  $\theta_2 = \frac{M_0L}{2EI}$

④  $\theta_1 = \theta_2$ 에서  $\frac{PL^2}{16EI} = \frac{M_0L}{2EI}$ ,  $M_0 = \frac{PL}{8} = M_A = M_B$

⑤  $M_x = \frac{P}{2}x - M_0$ ,  $M_C = \frac{PL}{8}$

⑥  $\delta_{\max} = \delta_1 - \delta_2 = \frac{PL^3}{48} - \frac{PL^3}{64} = \frac{PL^3}{192}$  (중첩법)

(2) 균일 등분포하중(SFD : 단순보 등분포하중과 동일, BFD : 유사, 양쪽하단이 (-))

① 기본해석 : 등분포하중이 작용하는 단순보와 양단의 아랫방향으로 우력  $M_0$ 가 작용하는 단순보의 합으로 생각, 양단에서의 처짐각이 0으로 같음을 이용하여 구한다.

② 등분포하중이 작용하는 단순보의 양단 고정지점에서의 처짐각  $\theta_1 = \frac{wL^3}{24EI}$

③ 아랫방향으로 우력이 작용하는 단순보의 양단 고정지점에서의 처짐각  $\theta_2 = \frac{M_0L}{2EI}$

④  $\theta_1 = \theta_2$ 에서  $\frac{wL^3}{24EI} = \frac{M_0L}{2EI}$ ,  $M_0 = \frac{wL^2}{12} = M_A = M_B$

⑤  $M_x = \frac{wL}{2}x - M_0 - \frac{wx^2}{2}$ ,  $M_C = \frac{wL^2}{24}$

⑥  $\delta_{\max} = \delta_1 - \delta_2 = \frac{5wL^4}{384} - \frac{wL^4}{96} = \frac{wL^4}{384}$  (중첩법)

## 3. 등분포하중 연속보(보 전체 길이가 2L인 경우)

① 반력 :  $R_A = R_C = \frac{3}{8}wL$ ,  $R_B = \frac{5}{4}wL$

② 굽힘모멘트 :  $M_B = -\frac{wL^2}{8}$

#### 4. 기출문제

##### 2003 조선기사

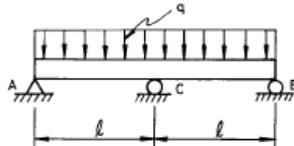
1. 다음 그림과 같이 연속보가 균일 분포하중( $q$ )을 받고 있을 때 A점의 반력은?

가.  $\frac{1}{8}ql$

나.  $\frac{1}{4}ql$

다.  $\frac{3}{8}ql$

라.  $\frac{1}{2}ql$



##### 2009 조선기사

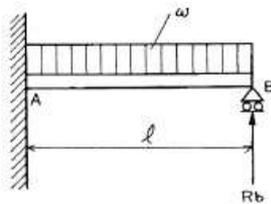
2. 그림과 같은 부정정보가 등분포 하중을 받고 있다. B점의 반력  $R_b$ 는?

가.  $\frac{1}{8}wl$

나.  $\frac{1}{3}wl$

다.  $\frac{3}{8}wl$

라.  $\frac{5}{8}wl$



##### 2004 조선기사

3. 공학적 변형률(engineering strain)  $e$ 와 진변형률(true strain)  $\epsilon$  사이의 관계식으로 맞는 것은?

가.  $\epsilon = \ln(e+1)$     나.  $\epsilon = e \ln(e)$     다.  $\epsilon = \ln(e)$     라.  $\epsilon = 3e$

# Section 021 유체의 정의와 성질

## 1. 유체의 정의 및 분류

- ① 정의 : 물질에 가한 전단력이 아무리 미소하더라도 그 것에 의해 변형이 일어나는 물질
- ② 점성유체 vs 비점성유체(이상유체) : 점성의 유무로 구분
- ③ 뉴턴유체 vs 비뉴턴유체 : 점성유체 내의 분류로써 뉴턴의 점성법칙 만족 유무로 구분
- ④ 압축성유체 vs 비압축성유체 : 유체를 압축하여 발생하는 압력변화에 대한 밀도의 변화의 유무에 따라 구분 ( $\frac{\partial \rho}{\partial P}$ ) 일반적으로 액체가 비압축, 기체가 압축성이다.

### (1) 유체의 기본 성질

- ① 밀도 : 단위 체적당 질량  $\rho = \frac{m}{V} [kg/m^3] \quad \frac{M}{L^3}$
- ② 비중량 : 단위 체적당 중량  $\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g [kg \cdot m^2/sec^2] \quad \frac{ML^2}{T^2}$
- ③ 비체적 : 단위 질량당 체적  $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} [m^3/kg] \quad \frac{L^3}{M}$
- ④ 비중 : 물의 중량에 대한 그 물질의 중량 비  $S = \frac{W}{W_w} = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{\rho}{\rho_w}, 1ml = 1cm^3$

### (2) 뉴턴의 점성법칙

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy}$$

- ① 점성계수(coef. of viscosity)  $\mu$  : 온도와 압력의 변화에 따라 변함.  $N \cdot sec/m^2, \quad \frac{M}{LT}$ 
  - 액체 : 온도가 증가할수록 액체입자의 응집력이 떨어져 점성계수가 감소
  - 기체 : 온도가 증가할수록 운동 에너지의 증가로 점성계수 증가
  - 1 poise :  $1g/cm \cdot s$
- ② 속도구배(각 변형속도, 각 변형률)  $\frac{du}{dy}$
- ③ 두 평행 평판 사이의 점성 운동  $\tau_{max} = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{V}{h}$  (u=V, h : 평판 사이의 간격)
- ④ 두 평행 평판 사이의 점성 운동  $F = \tau A = \mu \frac{VA}{h}$
- ⑤ 동점성계수(kinematic viscosity) : 점성효과의 전파속도  $\nu = \frac{\mu}{\rho} [m^2/sec] \quad \frac{L^2}{T}$ 
  - 1 stokes :  $1cm^2/s$

(3) 압력

- ①  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
- ② 대기압 : 공기에 의해 눌리는 압력을 측정한 것
- ③ 국소대기압 : 지구의 위도와 기후에 따라 다르게 측정되는 압력
- ④ 표준대기압 :  $0^\circ\text{C}$ , 표준 중력가속도 하에서 높이 760mm의 수은주가 그 밑면에 가하는 압력 또는 지구 전체의 국소대기압의 평균값.  
 $1 \text{ atm} = 760\text{mmHg} = 101325 \text{ Pa} = 14.7 \text{ psi}$
- ⑤ 계기압력  $P_g$  : 국소 대기압을 기준으로 측정된 압력
- ⑥ 정압(+) : 국소 대기압 이상에서 측정된 계기압력
- ⑦ 부압(-) : 국소 대기압 이하에서 측정된 계기압력
- ⑧ 절대압력  $P_a$  : 완전진공을 기준으로 한 압력으로 항상 양의 값을 가짐  
 $P_a = P_0 \pm P_g$ ,  $P_0$  : 국소대기압

(4) 동력

- ① 동력  $L = F \cdot v = T \cdot w$
- ②  $T = 716.2 \cdot 9.8 \frac{H_{PS}}{N} = 974 \cdot 9.8 \frac{H_{kW}}{N}$
- ③  $1 \text{ PS} = 0.735 \text{ kW}$   
 $1 \text{ kW} = 1.36 \text{ PS}$

(5) 체적탄성계수

$$K = - \frac{\Delta P}{\Delta V / V}$$

(6) 음속 및 마하수

- ① 음속  $C = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$     ② 마하수  $M = \frac{V}{C}$
- $M < 1$  : 아음속
- $M = 1$  : 음속
- $M > 1$  : 초음속
- 압축률  $\beta = \frac{1}{K}$

(7) 이상기체

- ① 기체의 비중량은 보일-샤의 법칙에서 구한다.
- ② 기체의 비중량은 압력에 비례하고 절대온도에 반비례한다.
- ③ 기체상수(R)의 값은 가스에 따라 다르며 분자량과 반비례한다.

## (8) 표면장력

액체 내부의 분자들 사이에서는 인력이 작용해 힘의 균형을 이루지만 기체 또는 혼합될 수 없는 액체와의 경계면에서는 분자인력의 불평형 때문에 내부로 향하는 힘을 받게 된다. 이 힘에 의해 액체는 수축하게 되고 경계면에는 장력이 작용하는데 이때의 단위길이당 장력을 표면장력이라고 한다.

액체분자가 기체분자보다 응집력이 커서 액체의 안쪽으로 수축되며 자유표면에는 표면장력이 발생하고 경계면에서 부착력보다 응집력이 크기 때문에 기체 속에서 액체 방울은 구형모양을 가진다.

밀도가 다른 액체와 액체 사이의 경계면에서는 밀도가 큰 액체분자가 인력이 커서 그쪽으로 수축하게 된다.

① 표면장력  $\sigma = \frac{F}{L}$  [N/m]

② 물방울에 작용하는 표면장력  $\pi D \cdot \sigma = \frac{\pi d^2}{4} \cdot P$ ,  $\sigma = \frac{PD}{4}$

### ③ 표면장력의 예

- 잔잔한 수면 위에 가는 바늘이 뜨는 현상
- 컵에 물을 채울 때 컵 상단 표면보다 약간 더 높게 채울 수 있는 현상
- 모세관 현상
- 테이블 위에 떨어진 물방울의 볼록한 현상

### ④ 모세관 현상

응집력과 부착력에 의해 자유표면보다 액주의 높이가 높거나 낮게 되는 현상

- 응집력 : 같은 유체의 분자들끼리 끌어당기는 힘
- 부착력 : 다른 유체의 분자들끼리 끌어당기는 힘
- 물속 유리관 : 액주 높이 > 자유표면, 응집력 > 부착력
- 수은속 유리관 : 액주 높이 < 자유표면, 응집력 < 부착력
- 액체 상승 높이 : 표면장력의 수직방향 성분 = 상승된 액체의 중량

$$\gamma \frac{\pi d^2}{4} h = \sigma \pi d \cos\theta, \quad h = \frac{4\sigma}{\gamma d} \cos\theta \quad (+ : \text{액체의 상승}, - : \text{하강}), \quad \theta : \text{접촉각}$$

## 2. 기출문제

### 2003 조선기사

1. 동점성계수의 차원은?

가.  $[L^2 T^{-1}]$     나.  $[L^{-1} T^{-2}]$     다.  $[L T^{-2}]$     라.  $[L T^{-1}]$

해설 : 동점성계수는  $\frac{\mu}{\rho} = \frac{M L^3}{L T M} = \frac{L^2}{T}$  이므로 가.

2003 조선기사

2. 온도의 증가에 따른 기체와 액체의 점성계수의 일반적인 변화는?

- 가. 기체 : 증가, 액체 : 감소
- 나. 기체 : 증가, 액체 : 증가
- 다. 기체 : 감소, 액체 : 증가
- 라. 기체 : 감소, 액체 : 감소

2003 조선기사, 2009 조선기사

3. 점성계수가 0.9poise이고, 밀도가 930kg/m<sup>3</sup>인 유체의 동점성계수는 몇 stokes인가?  
(단, 1poise = 1g/cm·s, 1stokes = 1cm<sup>2</sup>/s이다.)

- 가. 9.66     나. 0.968     다. 9.66 x 10<sup>-2</sup>     라. 9.66 x 10<sup>-3</sup>

해설 :  $\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.9g/cm \cdot s}{930kg/m^3} = 0.968 stokes$

2003 조선기사

4. 수중에서의 음파의 속도는?

(단, 물의 체적탄성계수는 1.96x10<sup>9</sup>N/m<sup>2</sup>, 물의 밀도는 1000kg/m<sup>3</sup>이다.)

- 가. 1320m/s     나. 1400m/s     다. 1484m/s     라. 1535m/s

해설 :  $C = \sqrt{\frac{V}{\rho}} = 1400m/s$

2009 조선기사

5. 일정한 속도로 비행하는 비행기의 마하수(Mach number)에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 음속과 마하수는 비례한다.
- 나. 온도와 마하수는 비례한다.
- 다. 고도와 마하수는 반비례한다.
- 라. 비행기의 속도는 마하수에 비례한다.

2009 조선기사

6. 유체에 관한 Newton의 점성법칙을 이루는 변수들을 옳게 짝지은 것은?

- 가. 압력, 속도, 점성계수
- 나. 압력, 점성계수, 각변형을
- 다. 전단응력, 온도, 점성계수
- 라. 전단응력, 점성계수, 속도구배

2004 조선산업기사

7. 체적이  $5m^3$ , 무게가 37240N인 기름의 비중은?

- 가. 0.76      나. 0.78      다. 0.8      라. 0.85

해설 :  $\rho = \frac{W}{Vg} = \frac{37240}{5 \cdot 9.8} = 760, \frac{\rho}{\rho_w} = 0.76$

2004 조선기사

8. 유체의 성질에 대하여 틀리게 설명한 것은?

- 가. 정지상태의 유체는 전단응력이 발생하지 않는다.
- 나. 액체는 일정한 체적과 용기에 따라 잘 규정될 수 있는 표면을 갖는다.
- 다. 액체는 기체보다 분자운동의 공간과 자유도가 크다.
- 라. 유체는 그 분자들의 기동성과 간격을 갖는다.

2004 조선기사

9. 마하수를 M, 물체의 속도를 V, 음속을 a라 할 때 다음 관계식 중 옳은 것은?

- 가.  $M = V/a$       나.  $M = aV$       다.  $M = a/V$       라.  $M = 1/aV$

2002 조선산업기사

10. 이상기체에 관한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 기체의 비중량은 보일-샤의 법칙에서 구한다.
- 나. 기체의 비중량은 압력에 비례하고 절대온도에 반비례한다.
- 다. 기체상수의 값은 가스의 종류에 따라 다르며 각 가스의 분자량과 반비례하는 관계가 있다.
- 라. 모든 가스 1 mole이 차지하는 체적은  $20.4m^3$ 이다.

해설 : 가스마다 1 mole이 차지하는 체적은 다르다.

2003 조선산업기사

11. 점성계수의 차원은?

(단, L : 길이, T : 시간, M : 질량)

- 가.  $L^2T^{-1}$       나.  $ML^{-1}T^{-1}$       다.  $ML^{-3}$       라.  $MLT^{-2}$

2002 조선산업기사

12. 펌프관을 흐르는 유체 유동에 대한 설명으로 틀린 것은?

가. 유속의 법선방향 구배는 거의 0이다.

나. 유속의 접선성분은 0이다.

다. 유속의 법선성분은 0이다.

라. 압력 구배는 거의 0이다.

2006 조선산업기사

13. 대기압, 계기압, 절대압의 관계식으로 옳은 것은?

가. 절대압 = 대기압 + 계기압

나. 절대압 = 대기압 - 계기압

다. 절대압 = 대기압 + 계기압 + 1기압

라. 절대압 = 대기압 - 계기압 + 1기압

2006 조선산업기사

14. 체적이  $8\text{m}^3$  인 어떤 액체의 무게가  $62.72\text{kN}$ 이라면, 이액체의 비중은?  
(단, 물  $1\text{m}^3$ 의 무게는  $9.8\text{kN}$  이다.)

가. 0.65

나. 0.80

다. 0.78

라. 0.92

# Section 022 유체 정역학

## 1. 유체의 정역학

(1) 정지 유체 속에서의 압력

- ① 임의의 한 점에 작용하는 압력은 모든 방향에서 같아야 한다.
- ② 동일 수평선상의 임의의 두 점에 작용하는 압력도 같다.
- ③ Pascal의 원리 : 유압기기에서  $P_1 = P_2$

(2) 정수압력 : 정지 상태에 있는 액체의 무게에 의해서 발생하는 압력

단면적 A의 연직기둥의 수직방향에 대한 평형식

$$\sum F_y = 0 = PA - P_0A - W, P_0: \text{대기압}, W: \text{액체의 무게}$$

계기압력으로 대기압  $P_0=0$ 이므로  $PA - W = PA - \gamma Ah = 0, P = \gamma h$

- ① 직사각형수조의 바닥에 작용하는 힘 : 비중량에 바닥면적과 수면까지의 높이를 곱한다.
- ② 직원뿔형수조의 바닥에 작용하는 힘 : 유체의 무게를 구한다. => 공기와의 접촉 X

(3) 액주계(manometer) : 수압계원리에 의한 압력 측정 장치, 보통 유리관 또는 용기 및 관에 연결시켜 액주의 높이를 측정하여 압력 또는 압력차를 측정한다.

- ① 피에조미터 : 대기압보다 약간 높은 압력을 측정하는데 사용
- ② 경사액주계 : 압력의 변화가 적은 경우 또는 압력 측정의 정도를 높이기 위해 사용
- ③ U자형액주계 : 피에조미터를 쓰기에 너무 높은 압력일 경우 U자형 액주계에 비중이 큰 제 2의 액체를 사용
- ④ 시차액주계(차압액주계) : U자형액주계와 함께 액주계의 액체가 압력을 측정하려고 하는 유체와 다른 경우의 액주계
- ⑤ U자형시차액주계, 역U자형시차액주계, 벤투리미터(정압을 측정해서 유량계측)

(4) 전압력(평면)

① 수평면에 작용하는 힘  $F = PA = \gamma \bar{h}A [N], \bar{h}$  : 수면에서 물체의 중심까지의 수직 깊이

② 수직 평판에 작용하는 힘  $F = \gamma \bar{h}A [N]$

전압력의 작용점(압력분포의 중심점)  $h_p = \bar{h} + \frac{I_G}{Ah}, I_G: \text{도심에서 } x\text{축에 대한 2차 모멘트}$

③ 경사 평면에 작용하는 힘(자유표면에 대해  $\theta$ 만큼 기울어짐 - y축)

$F = \gamma \bar{y} \sin \theta A = \gamma \bar{h}A, \bar{y}$  : x축에서 도심까지 경사거리

전압력의 작용점  $y_p = \bar{y} + \frac{I_{Gx}}{Ay}, h_p = y_p \sin \theta$

(5) 전압력(곡면)

① 수평분력  $R_H = \gamma \bar{h} A$

(곡면을 수직평면에 투영시켰을 때 발생하는 투영면적에 작용하는 전압력)

② 수직분력  $R_V = \gamma V$

(곡면이 떠받치고 있는 연직 상방향의 유체의 무게)

③ 합성력  $R = \sqrt{R_H^2 + R_V^2}$ ,  $\tan \theta = \frac{R_V}{R_H}$

(6) 부력(buoyancy)

유체 속에 잠겨있거나 떠 있는 물체가 유체로부터 받는 연직상방향의 힘(전압력)  $F_B = \gamma V$

① 유체 속에 떠 있는 물체에 작용하는 부력 = 물체의 무게

$$F_B = W = \gamma_b V_t = \gamma_f V$$

$V_t$  : 전체 체적,  $V$  : 유체 속에 잠긴 체적,  $\gamma_b$  : 물체의 비중량,  $\gamma_f$  : 유체의 비중량

② 유체 속에 잠긴 물체에 작용하는 부력 (강제로 잠기게 한 경우)

$$F_B = W + W', \quad W' : \text{외력}$$

③ 유체 속에 잠긴 물체에 작용하는 부력 (스스로 잠긴 경우)

$$F_B = W - W', \quad W' : \text{유체 속 물체의 무게}$$

(7) 부양체(floating body) : 선박과 같이 일부가 대기중에 노출되어 있는 물체

① 경심(metacenter)

② 경심고(metacenter height, GM)

$\overline{GM} > 0$  : 안정,  $= 0$  : 중립,  $< 0$  : 불안정

③ 복원모멘트  $M = W \cdot \overline{GM} \sin \theta$

(8) 상대평형(relative equilibrium)

공간상의 정지좌표계에서는 운동을 하지만 유체 내 좌표계에서 상대운동이 없어 고체처럼 평형상태를 유지하면서 움직이는 것.

ex) 용기 내 액체의 등가속도운동, 한 축을 중심으로 하는 등속원운동

① 수평 등가속도를 받는 물체

- 수직방향의 압력분포  $P = \gamma h$  (정지유체의 압력, 즉 정수압과 동일)

- 수평방향의 압력분포  $\tan \theta = \frac{a_x}{g} = \frac{\Delta h}{l}$

② 연직 상 방향 등가속도를 받는 유체

-  $\Delta P = \gamma h (1 + \frac{a_x}{g})$  (중력에 의한 압력변화 + 가속도 운동에 의한 압력변화)

- 자유낙하 :  $\Delta P = 0$

③ 등속 원운동을 받는 유체

- 기준면으로부터 올라간 수면의 높이  $h = \frac{V^2}{2g} = \frac{(rw)^2}{2g}$

## 2. 기출문제

### 2002 조선산업기사

1. 곡면에 작용하는 힘의 수평 분력은?

가. 곡면의 수직 상방의 액체의 무게

나. 그의 면심에서 압력에 면적을 곱한 것

다. 곡면을 수직면에 투영한 면적에 작용하는 힘

라. 곡면에 의해서 지지된 액체의 무게

### 2002 조선산업기사

2. 벤츨리 미터에 관한 설명으로 옳은 것은?

가. 유속을 직접 측정하는 계기이다.

나. 압력차를 측정하여 유량을 계산한다.

다. 수평관로에만 사용할 수 있다.

라. 베르누이의 정리와는 무관하다.

2003 조선기사

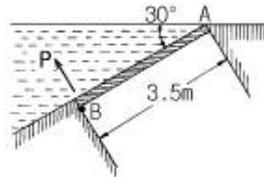
3. 부체가 수면에 떠 있을 경우 안정상태를 가장 바르게 설명한 것은?

- 가. 무게중심이 부심의 위치보다 위에 있어야 한다.
- 나. 무게중심과 부심의 위치가 같아야 한다.
- 다. 무게중심과 메타센터 위치가 같아야 한다.
- 라. 무게중심이 메타센터 위치보다 아래에 있어야 한다.

2003 조선기사

4. 그림과 같이 0.6m x 3.5m의 수문 평판 AB를 수면과 30° 각도로 설치해 놓았다. 점에  
서 힌지(hinge)로 연결되어 있으면 이 문을 B점에서 열기위한 힘 P(수문에 수직)는?

- 가. 14.9 kN
- 나. 13.3 kN
- 다. 12.0 kN
- 라. 11.4 kN

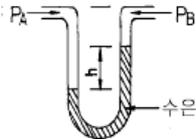


해설 :  $\sum M_A = 3.5 F = \gamma \cdot 3.5 \cdot 0.6 (1.75 \sin 30 + \frac{3.5^2}{12 \cdot 1.75 \sin 30}) = 12.0 kN$

2004 조선기사

5. 그림과 같이 수은(비중 13.6)을 넣은 U자관의 한쪽에  $P_A = 330kPa$ 의 수압이 작용하고,  
다른쪽에  $P_B = 220kPa$ 인 수압이 작용할 때 수은주의 높이 차는?

- 가. 57.8cm
- 나. 82.5cm
- 다. 68.3cm
- 라. 75.5cm



해설 :  $h = \frac{1}{\gamma} \Delta P = 82.5 cm$

2004 조선산업기사

6. 어떤 물체의 공기중에서의 무게는 490N이고, 물속에서의 무게는 98N이었다. 이 물체의  
체적은?

- 가. 0.06 m<sup>3</sup>
- 나. 0.04 m<sup>3</sup>
- 다. 0.05 m<sup>3</sup>
- 라. 0.01 m<sup>3</sup>

해설 :  $F_B = \gamma_w V = W_{air} - W_{water} = 392, V = 0.04 m^3$

2009 조선기사

7. 물방울의 반지름이 반으로 감소한다면, 이 물방울 내외의 압력차는 어떻게 변하는가?  
(단, 표면장력은 일정하다.)

- 가. 변함없다
- 나. 2배로 된다.
- 다. 반으로 감소한다.
- 라. 4배로 된다.

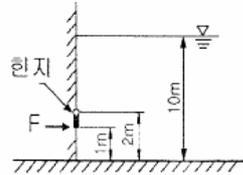
해설 :  $P_i A - \sigma D \pi - P_o A = 0, \Delta P = \frac{4}{D^2 \pi} \cdot \sigma D \pi = \frac{4\sigma}{D}$  이므로 2로 증가한다.

2009 조선기사

8. 다음 그림과 같이 수심 10m인 댐의 수문이 지상 2m 위치에서 힌지되어 있다. 수문이 폭 1m인 정사각형일 때 수문의 아래쪽 끝에 일정한 힘을 가하여 수문이 열리지 않게 할 수 있는 힘 F는 몇 kN인가?

(단, 물의 밀도는  $1000kg/m^3$ 이다.)

- 가. 32.5
- 나. 42.5
- 다. 52.5
- 라. 62.5



해설 :  $\sum M = F \cdot 1 = \gamma_w A \bar{h} (h_p - 8) = 42.5 kN$

2003 조선산업기사

9. 부력의 작용선을 옳게 설명한 것은?

- 가. 유체에 잠겨 있는 물체의 중심을 지난다.
- 나. 물체에 의하여 배제(排除)된 유체의 체심(體心)을 지난다.
- 다. 부양체의 체심을 지난다.
- 라. 부양체를 수평면에 투영한 투영면의 도심을 통과한다.

2003 조선산업기사

10. 다음 중 유체 정역학으로 다룰 수 없는 경우는?

- 가. 댐에 들어있는 물이 가지는 힘의 계산
- 나. 대기중의 압력변화 계산
- 다. 등가속도의 운동을 받고 있는 유체의 거동
- 라. 정수 중에 정박해 있는 선박의 외력계산

2006 조선산업기사

11. 어떤 물체를 공기 중에서 잰 무게는 300N이고, 청수 중에서 잰 무게는 200N이었다. 이 물체의 체적은?

- 가. 약 0.01m<sup>3</sup>      나. 약 0.02m<sup>3</sup>      다. 약 0.03m<sup>3</sup>      라. 약 0.04m<sup>3</sup>

2006 조선산업기사

35. 폭 1.5m, 높이 2m의 수문이 그림과 같이 수직으로 설치되어 있을 때 이 수문에 작용하는 힘은?

(단, 수문 상단까지의 수심은 1m이다.)

- 가. 58.8kN      나. 42.5kN      다. 35.0kN      라. 25.5kN

해설 :  $F = \gamma A \bar{h} = 9800 \cdot 1.5 \cdot 2 \cdot 2 = 58.8kN$

# Section 023 유체운동과 방정식

## 1. 유체운동의 유형과 선형

### (1) 정상류 vs 비정상류

#### ① 정상류(steady flow)

유동장의 임의의 한 점에서 시간의 변화에 대한 유동특성이 일정한 유체의 흐름

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

#### ② 비정상류(unsteady flow)

유동장의 임의의 한 점에서 시간에 따라 유동특성이 변하는 흐름

### (2) 등류 vs 비등류

#### ① 등류(uniform flow)

한 운동장의 주어진 영역 내에서 모든 점의 속도가 공간좌표에 관계없이 동일한 유동

- 비정상 균속도 운동  $\frac{\partial V}{\partial S} = 0, \frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$

- 정상 균속도 운동  $\frac{\partial V}{\partial S} = 0, \frac{\partial V}{\partial t} = 0$

#### ② 비등류(nonuniform flow)

한 유동장 내의 주어진 영역 내에서 모든 점의 속도가 위치에 따라 변하는 운동

- 비정상 비균속도 운동  $\frac{\partial V}{\partial S} \neq 0, \frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$

- 정상 비균속도 운동  $\frac{\partial V}{\partial S} \neq 0, \frac{\partial V}{\partial t} = 0$

### (3) 유선(streamline)

유동장에서 유체 흐름의 어느 순간에 각 점에서 속도 벡터의 방향과 접선방향이 일치하도록 그려진 연속적인 가상 곡선, 다른 유선과 겹치지 않는다.

$$\vec{V} \times d\vec{s} = 0, \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$$

### (4) 유적선(pathline)

한 유체 입자가 일정한 기간 내에 흘러간 경로

① 비정상유동 : 시간에 따라 속도벡터의 방향이 변하므로 유선도 시간에 따라 변화하게 된다. 즉 유체 입자는 한 유선을 따라 움직이다가 다음 순간 다른 유선을 따라 움직인다.

② 정상유동 : 임의의 점에서 속도벡터의 방향이 변하지 않으므로 유선과 유적선이 일치한다.

### (5) 유맥선(streakline)

공간 내의 한 점을 통과한 모든 유체 입자들의 순간궤적. 정상류에서는 유선, 유적선, 유맥선 모두가 일치한다.

(6) 유관(streamtube)

유동장속에서 폐곡선을 통과하는 유선들에 의해 형성되는 공간, 즉 유선으로 둘러싸인 유선의 다발을 말한다. 미소 단면적의 유관은 하나의 유선으로 취급할 수 있고 반대로 유선은 작은 유관으로 생각할 수 있다.

## 2. 유체 운동 방정식

(1) 연속방정식

관로나 수로와 같은 유동장에 흐르는 유체에 질량보존의 법칙을 적용시켜 얻은 방정식

① 1차원 연속방정식

유동장으로 흘러들어온 단위시간당 질량 = 출구로 빠져나간 단위시간당 질량

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2, \rho A V = const, V : \text{평균속도}$$

$$d\rho A V + \rho dA V + \rho A dV = 0, \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dA}{A} + \frac{dV}{V} = 0$$

- 질량유량(mass flowrate)  $\dot{m} = \rho A V [kg_m/sec]$
- 중량유량(weight flowrate)  $\dot{W} = \gamma A V [kg_f/sec]$
- 체적유량(volumetric flowrate)  $Q = A V [m^3/sec]$

② 3차원 연속방정식

$$\nabla \cdot (\rho \vec{V}) = \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = - \frac{\partial \rho}{\partial t}, \nabla : \text{gradient operator}$$

- 3차원 정상류 압축성 유체의 연속방정식  $\nabla \cdot (\rho \vec{V}) = \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$

- 3차원 정상류 비압축성 유체의 연속방정식  $\nabla \cdot (\vec{V}) = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$

$\nabla \cdot \vec{V}$  : 속도  $\vec{V}$ 의 다이버전스(divergence)

- 2차원 정상류 비압축성 유체의 연속방정식  $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$

(2) 오일러방정식

어떤 유동장의 유선을 따라 운동하고 있는 비점성 유체의 미소체적에 뉴턴의 운동 제2법칙을 적용시켜 얻은 미분방정식

기본가정

- ① 유체입자는 유선을 따라 움직인다.
- ② 유체의 흐름은 정상류이다.
- ③ 비점성 유체의 흐름이다. (이상유체)

$$\frac{dP}{\rho} + VdV + gdz = 0, \quad \frac{dP}{\gamma} + \frac{VdV}{g} + dz = 0$$

(3) 베르누이 방정식

오일러의 운동방정식을 유선방향에 대해 적분한 식

$$\int \frac{dP}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = C \quad \text{or} \quad \int \frac{dP}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = C$$

- ① 비압축성 유체의 베르누이 방정식( $\rho : \text{const}$ )

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gZ = H \quad \text{or}$$

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = H \quad (\text{정상류 비압축성 유체의 단위중량당 에너지 보존 방정식})$$

- 첫 번째 항  $\frac{P}{\gamma}$  : 단위중량당 압력에너지, 압력수두
- 두 번째 항  $\frac{V^2}{2g}$  : 단위중량당 운동에너지, 속도수두
- 세 번째 항  $Z$  : 단위중량당 위치에너지, 위치수두
- H : 단위중량당 총기계에너지(어느 한 유선을 따라 일정), 전수두
- 각 항의 차원은 L이고 단위는 m이다.

② 베르누이 방정식의 기본 가정

- 오일러 방정식의 기본가정 + 비압축성 유체

③ 수력구배선과 에너지선

- 에너지선(energy line, E.L) : 전수두를 나타내는 선
- 수력구배선(hydraulic grade line, H.G.L) : 한 유선상의 모든 점에서 압력수두와 위치수두의 합을 연결한 선

(4) 수정 베르누이 방정식(modified Bernoulli's equation)

① 손실수두를 고려한 베르누이 방정식

실제 유체(점성유체) 유동에서는 점성 때문에 마찰손실이 발생하므로

$$\text{단면 1과 2사이에서 식은 } \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L, \quad h_L : \text{손실수두}$$

② 펌프수두를 고려한 베르누이 방정식

실제 유체의 유동관로에 펌프를 설치하여 유체를 이송할 때

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_P = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L, \quad h_P : \text{펌프수두}$$

③ 터빈수두를 고려한 베르누이 방정식(터빈 : 물이 가진 에너지를 기계적 에너지로 변환)

실제 유동 관로에 터빈이 설치되어 있을 때

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L + h_T, \quad h_T : \text{터빈수두}$$

(5) 공률(power)

$$L = \gamma Q H [W], \quad H : \text{전수두}$$

① 펌프동력  $L_P = \gamma Q h_P$

② 터빈동력  $L_T = \gamma Q h_T$

(6) 오피리스 : 유량을 측정할 수 있는 예리한 끝을 가진 원형단면의 구멍.

(유로의 단면을 바꾸는 스로틀의 한 종류)

① 토리첼의 정리  $V = \sqrt{2gh}$ ,  $h$  : 구멍과 수면의 높이차

② 이론유량  $Q = AV = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gh}$

③ 실제속도  $V_a = C_v \sqrt{2gh}$ ,  $C_v$  : 유속계수

④ 실제유량  $Q_a = CA V = CA \sqrt{2gh}$ ,  $C$  : 유량계수

(7) 피토관 : 동압을 측정하는 속도계측기

- 관내에 흐르는 유속 측정

$$V = \sqrt{2g\Delta h \left( \frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)}$$

- 유동 중 강물의 유속을 측정하기 위한 피토관

$$V_1 = \sqrt{2gH}, H : \text{수면에서부터 관내에 차오른 경계선까지의 높이}$$

(8) 벤투리미터

축소, 확대관 사이에 마노미터를 설치하여 정압을 측정함으로써 유량을 구하는 장치

(9) 사이펀

한쪽의 액체를 다른 낮은 쪽으로 옮기기 위해 사용하는 U자형 또는 V자형의 흡수관

$$\textcircled{1} \text{ 출구속도 } Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2, V_2 = \sqrt{2g(Z_1 - Z_2)}$$

$$\textcircled{2} \text{ 유량 : } Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2g(Z_1 - Z_2)}$$

### 3. 계측장치

① 정압 : 피에조미터, 정압관

② 유속 : 피토관, 시차액주계, 피토-정압관, 열선속도계

③ 유량 : 오피리스, 노즐, 벤투리미터

$$\textcircled{4} \text{ 유동노즐의 속도식 } V = \frac{\sqrt{2g\Delta h (\gamma_o/\gamma - 1)}}{\sqrt{1 - (d_2/d_1)^4}} \quad (d_2 : \text{노즐의 직경})$$

### 4. 기출문제

2003 조선기사

1. 유체 흐름에 있어서 연속방정식(continuity equation)이란?

가. 뉴턴의 제 2법칙을 만족시키는 방정식이다.

나. 질량보존의 법칙을 만족시키는 방정식이다.

다. 에너지와 일과의 관계를 나타내는 방정식이다.

라. 유선상의 2점에서의 단위체적당의 모멘텀에 관한 방정식이다.

2003 조선기사

2. 유체의 한 입자가 일정한 기간내에 유동해가는 경로는?

가. 정상류(steady flow) 나. 유맥선(streak line)

다. 유적선(path line) 라. 유관(stream tube)

2004 조선기사

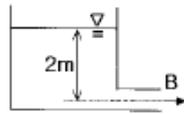
3. 그림과 같은 물통에서 구멍 B로부터 나오는 물의 순간 최대 유출속도는?  
(단, 물통상부는 대기에 노출되어 있다.)

가. 4.15m/s

나. 6.26m/s

다. 5.32m/s

라. 8.33m/s



해설 :  $V = \sqrt{2gh} = 6.26m/s$

2004 조선산업기사

4. 다음 중 유량을 측정할 때 사용되는 장치는?

가. 다이내모미터(dynamometer)

나. 벤추리미터(venturimeter)

다. 열선 아네모미터(hot-wire anemometer)

라. 피에조미터(piezometer)

2004 조선산업기사

5. 유동하는 물의 속도가 10m/s이다. 이때 전수두가 15m라면 수력구배선의 높이는?

가. 9.0m    나. 9.2m    다. 9.6m    라. 9.9m

해설 : 수력구배선의 높이 =  $15m - \frac{V^2}{2g} = 9.9m$

2009 조선기사

6. 유체의 흐름 속에 고정된 한 점을 통과한 유체입자의 궤적선은?

가. 유선(streamline)    나. 시간선(timeline)    다. 유적선(pathline)    라. 유맥선(streakline)

2009 조선기사

7. 원형단면 관을 통하여 유속 2m/s로 유량 0.25m³/s 이 흐른다면 이 관의 내경은 약 몇 cm인가?

- 가. 35.2    나. 39.9    다. 51.5    라. 66.4

해설 :  $Q = \frac{d^2\pi}{4} V, d = 39.9cm$

2009 조선기사

8. 다음 중 베르누이(Bernoulli) 방정식을 옳게 나타낸 것은?  
(단, p: 압력, ρ: 밀도, V: 속도, g: 중력가속도, z: 높이, C: 상수 이다.)

- 가.  $\frac{P}{\rho} + \frac{\rho V^2}{2} + \rho gz = 0$     나.  $\frac{P}{\rho} + \frac{\rho V^2}{2} + \rho gz = C$   
다.  $\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = C$     라.  $\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = 0$

2003 조선산업기사

9. 정상류(steady flow)에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 유동의 특성이 시간에 따라 주기적으로 변하는 흐름  
나. 비점성, 비압축성 유체의 흐름  
다. 유동의 특성이 시간에 따라 변하지 않는 흐름  
라. 전 유체 영역에 걸쳐 층류만 존재하는 흐름

2003 조선산업기사

10. 베르누이 방정식  $\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z = C$ 에서  $\frac{V^2}{2g}$ 은 어떤 수두이며, 단위는 무엇인가?

- 가. 위치수두, m/s    나. 속도수두, m    다. 위치수두, m    라. 속도수두, m/s

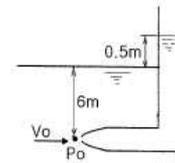
2003 조선산업기사

11. 유체 흐름에서 연속방정식이란?

- 가. 유체의 모든 입자에 뉴턴의 관성법칙을 적용시킨 방정식이다.  
나. 에너지와 일 사이의 관계를 나타낸 방정식이다.  
다. 유체를 연속체라 가정하고 탄성역학의 후크의 법칙을 적용한 방정식이다.  
라. 질량보존의 법칙을 유체유동에 적용한 방정식이다.

2003 조선산업기사

12. 그림과 같은 피토관이 유동장내에 설치되었을 때,  $P_o$ 에 의한 수두 변화가 0.5m라면 유속  $V_o$ 는?



- 가. 9.8m/s    나. 4.9m/s    **다.  $\sqrt{9.8}$  m/s**    라.  $\sqrt{4.9}$  m/s

해설 :  $V = \sqrt{2g\Delta h} = \sqrt{9.8} \text{ m/s}$

2004 조선기사

13. 유체운동학(kinematics)의 대상 크기가 아닌 것은?

- 가. 거리**                    나. 시간                    다. 속도                    라. 가속도

2002 조선산업기사

14. 바다 속을 운항하는 잠수함이 28kgf/cm<sup>2</sup>의 절대압력을 받고 있다. 이 때의 깊이는? (단, 이 때의 대기압은 1.0332 kgf/cm<sup>2</sup>이다.)

- 가. 380.0m                    나. 352.7m                    다. 243.2m                    **라. 263.1m**

해설 : 대기압을 기준으로 환산해보면 28/1.0332 = 27.1기압이 된다. 대기압인 1기압을 제외하면 26.1기압이 되며 수심 10m당 1기압씩 커지므로 261m가 된다.

2006 조선산업기사

15. 물이 지름 50cm인 관속을 평균속도 10m/s로 흐르고 있을 때 유량은?

- 가. 1.96 m<sup>3</sup>/s**                    나. 3.15 m<sup>3</sup>/s                    다. 20.0 m<sup>3</sup>/s                    라. 31.4 m<sup>3</sup>/s

# Section 024 유체 운동량의 법칙과 응용

## 1. 충격력과 운동량

뉴턴의 제2법칙 : 물체에 작용한 외력의 합 = 그 물체의 시간에 대한 운동량의 변화율

(1) 충격력(역적, impulse)

$$\vec{I} = \sum \vec{F} \cdot t \quad [N \cdot s]$$

(2) 운동량(momentum)의 법칙 : 운동하는 모든 유체에 적용

$$\vec{G} = m \vec{V} \quad [kg_m \cdot m/s]$$

(3) 운동량 방정식 : 역적과 운동량의 원리, 정상유동, 균일유동

곡관 내 1차원 정상류에 적용시켜보면

$$\sum \vec{F} \cdot dt = (\rho_2 A_2 V_2 dt) \vec{V}_2 - (\rho_1 A_1 V_1 dt) \vec{V}_1 = \rho_2 Q_2 dt \vec{V}_2 - \rho_1 Q_1 dt \vec{V}_1 \text{ 이며}$$

비압축성 유체 유동이라고 하면  $\sum \vec{F} = \rho Q (\vec{V}_2 - \vec{V}_1)$  이 된다. x,y,z축 각각에 대해서 나눌 수 있다.

(4) 절대속도와 상대속도

① 절대속도 : 정지좌표계를 기준으로한 속도

② 상대속도 : 운동좌표계를 기준으로한 속도  $V_{B/A} = V_B - V_A$

## 2. 여러 가지 유동

(1) 곡관유동(단면1과 2의 면적이 다르다)

① x방향으로 미치는 힘

$$\sum F_x = P_1 A_1 - P_2 A_2 \cos\theta - F_x = \rho Q (V_2 \cos\theta - V_1)$$

$$F_x = P_1 A_1 + \rho Q V_1 - (P_2 A_2 + \rho Q V_2) \cos\theta$$

② y방향으로 미치는 힘

$$\sum F_y = F_y - W - P_2 A_2 \sin\theta = \rho Q V_2 \sin\theta$$

$$F_y = W + (P_2 A_2 + \rho Q V_2) \sin\theta$$

③ 합력  $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ ,  $\tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$

(2) 분류(jet)가 평판에 작용하는 힘

① 고정평판에 수직분류가 충돌할 때 작용하는 힘

$$F_x = \rho Q V = \rho A V^2$$

② 이동평판에 수직분류가 충돌할 때 작용하는 힘(평판의 이동속도  $u$ )

$$Q = A(V-u), F_x = \rho Q(V-u) = \rho A(V-u)^2$$

③ 이동평판에 수직분류가 충돌할 때 발생하는 동력

$$L = F_x \cdot u = \rho A(V-u)^2 u \quad [W]$$

④ 고정평판에 경사 분류가 충돌할 때(오른쪽 위에서 분류가 온다고 생각)

$$Q = Q_1 + Q_2, \sum F_x = \rho Q_2 V_2 - \rho Q_1 V_1 - \rho Q V \cos \theta = 0 \text{에서}$$

$$Q_1 = \frac{Q}{2}(1 + \cos \theta), Q_2 = \frac{Q}{2}(1 - \cos \theta)$$

$$F_y = \rho Q V \sin \theta = \rho A V^2 \sin \theta \quad (\text{y방향으로 미치는 힘})$$

$$F_0 = F_y \sin \theta = \rho Q V \sin^2 \theta \quad (\text{분류 방향으로 미치는 힘})$$

⑤ 고정날개(fixed vane)에 분류가 작용하는 힘( $V_1 = V_2 = V$ )

(단면과 기압이 같은 곡관유동이라고 보면 된다. - 공기에 접하므로 기압이 같다)

$$\sum F_x = -F_x = \rho Q V_{2x} - \rho Q V_{1x}, F_x = \rho Q V(1 - \cos \theta) = \rho A V^2(1 - \cos \theta)$$

$$\sum F_y = F_y = \rho Q V \sin \theta = \rho A V^2 \sin \theta$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}, \tan \theta = \frac{F_y}{F_x}$$

⑥ 이동날개에 분류가 작용하는 힘(날개의 이동속도  $u$ )

$$Q_0 = A V$$

$$Q = A(V-u)$$

$$F_x = \rho Q(V-u)(1 - \cos \theta) = \rho A(V-u)^2(1 - \cos \theta)$$

$$F_y = \rho Q(V-u) \sin \theta = \rho A(V-u)^2 \sin \theta$$

$$L = F_x \cdot u$$

⑦ 날개열(수차와 같이 회전차의 원주방향으로 날개가 설치된 경우)

날개를 통과하는 유량과 분출되는 유량이 동일하므로  $Q_0 = Q = AV$

$$F_x = \rho Q(V-u)(1-\cos\theta)$$

$$L = F_x \cdot u$$

(3) 프로펠러 유동( $V_1$  : 유입속도,  $V_4$  : 유출속도,  $V$  : 프로펠러를 지나는 속도)

$$F = (P_3 - P_2)A = \rho AV(V_4 - V_1)$$

$$V = \frac{V_1 + V_4}{2}$$

$$L_{out} = F \cdot V_1 = \rho Q(V_4 - V_1)V_1$$

$$L_{in} = F \cdot V = \rho Q(V_4 - V_1)V$$

효율  $\eta = \frac{L_{out}}{L_{in}} = \frac{V_1}{V}$ , 보통 항공기는 85%가 최대, 선박은 프로펠러 직경으로 인해 60%.

(4) 노즐분사추진

$$V' = C_v V, C_v : \text{유속계수}, V' : \text{실제속도}$$

$$Q' = C_c A V' = C A V, C_c : \text{수축계수}, C : \text{유량계수}, C = C_v \cdot C_c$$

### 3. 기출문제

#### 2009 조선기사

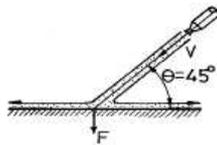
1. 운동량법칙을 이용하여 프로펠러의 추력을 증가시키기 위한 방법으로 틀린 것은?

- 가. 프로펠러의 직경을 크게 한다.
- 나. 프로펠러에 유입되는 유량을 많게 한다.
- 다. 프로펠러의 전·후면의 압력차를 크게 한다.
- 라. 프로펠러 유입속도와 유출속도의 차를 작게 한다.

#### 2004 조선산업기사

2. 그림과 같이 지름 40mm인 분류가 60m/s의 속도로 고정 평판에 45°의 각을 이루고 충돌할 때 판이 받는 힘은?

- 가. 2332N
- 나. 3199N
- 다. 3185N
- 라. 4528N



해설 :  $F = \rho Q V \sin\theta = \rho \frac{d^2 \pi}{4} V^2 \sin 45 = 3199N$

2004 조선기사

3. 유량  $6\text{m}^3/\text{min}$ , 속도  $10\text{m/s}$ 인 물이 고정 평판에 수직으로 분사될 때, 평판에 작용하는 힘은?

(단, 물의 밀도는  $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 이다.)

- 가.  $1\text{kN}$       나.  $60\text{kN}$       다.  $6\text{kN}$       라.  $100\text{N}$

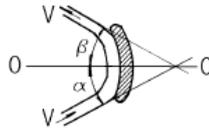
해설 :  $F = \rho QV = 1000 \cdot 0.1 \cdot 10 = 1\text{kN}$

2004 조선기사

4. 그림과 같은 고정된 수력터빈의 깃에 대하여 젓(jet)이  $V\text{m/s}$ 로 깃을 따라 유동할 때, 중심선 방향으로 깃에 대하여 미치는 힘을 옳게 나타낸 것은?

(단, 유체의 밀도를  $\rho$ , 젓의 유량을  $Q$ 라 한다.)

- 가.  $\rho QV(\sin\alpha + \sin\beta)$   
 나.  $\rho QV(\sin\alpha + \cos\beta)$   
 다.  $\rho QV(\cos\alpha + \cos\beta)$   
 라.  $\rho QV(\cos\alpha + \sin\beta)$



해설 :

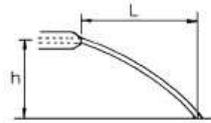
$$\sum F_x = -F_x + \rho QV_1 \cos\alpha - \rho QV_2 \cos(180 - \beta)$$

$$F_x = \rho Q(V_1 \cos\alpha - V_2 \cos(180 - \beta)) = \rho QV(\cos\alpha + \cos\beta)$$

2004 조선기사

5. 그림과 같이 노즐을 수평으로 설치하여  $h=3.5\text{m}$ 인 높이에서  $L=8\text{m}$ 인 거리에 물이 도달할 수 있도록 하자면 유속은 얼마가 되어야 하는가?

- 가.  $8.25\text{m}$   
 나.  $9.47\text{m}$   
 다.  $11.52\text{m}$   
 라.  $7.42\text{m}$



해설 : 자유낙하 시 지표면에 도달하는 시간  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  이며 수평이동거리  $L = V_x \cdot t$ 이므로

$$\text{로 } V = V_x = L \cdot \sqrt{\frac{g}{2h}} = 9.47\text{m/s}$$

2003 조선기사

6. 단면적  $A = 100\text{cm}^2$ , 유량  $Q = 0.05\text{m}^3/\text{s}$ 인 물의 분류가 고정된 평판에 직각으로 충돌할 때 판에 작용하는 힘은?

가. 294N      나. 348N      다. 250N      라. 455N

해설 :  $F = \rho Q V = \rho Q \frac{Q}{A} = 250\text{N}$

2003 조선기사

7. 어떤 관을 통하여 유속 2m/s로 유량  $0.25\text{m}^3/\text{s}$ 이 흐른다면 이 관의 내경은?

가. 35.2cm      나. 39.9cm      다. 51.5cm      라. 66.4cm

해설 :  $Q = AV = \frac{d^2\pi}{4} V, d = 39.9\text{cm}$

2002 조선산업기사

8. 배가 물 위를 10m/sec로 지나간다. 배 뒤의 프로펠러를 지난 후의 물의 후류 속도가 8m/sec이고, 프로펠러의 지름이 0.8m이면, 추력은 몇 kgf인가?

가. 5742kgf      나. 5642kgf      다. 5542kgf      라. 5442kgf

해설 :  $V_4 = 10 + 8 = 18\text{m/s}, V_1 = 10\text{m/s}, V = \frac{V_1 + V_4}{2} = 14\text{m/s}$

$F = \rho A V (V_4 - V_1) = 5744.6\text{kgf}$

# Section 025 층류, 난류, 항력 및 양력

## 1. 층류와 난류

(1) 층류, 난류, 천이유동

① 층류(laminar flow)

유체입자들이 얇은 층을 이루며 층과 층 사이에 입자의 교환 없이 질서정연하게 미끄러지면서 흐르는 유동, 뉴턴의 점성법칙 만족

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

② 난류(turbulent flow)

유체입자들이 불규칙적이고 무질서하게 난동을 일으키며 흐르는 흐름

$$\tau = (\mu + \eta) \frac{d\bar{u}}{dy}, \quad \bar{u} : \text{평균속도}$$

$\eta$ : 와점성계수(eddy viscosity), 유체밀도와 난류정도에 따라 결정되며 보통  $\mu$ 보다 큼  
점성력은 층류가 난류보다 크다.

③ 천이유동(transition flow) : 층류에서 난류로 또는 난류에서 층류로 변하는 유동상태

(2) 레이놀즈 수(Reynold's number)

레이놀즈 수(Re) =  $\frac{\text{관성력}}{\text{점성력}}$ , 층류와 난류를 구분하는 척도, 무차원수

- 직경이 일정한 원관 유동에서의 레이놀즈 수

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{\rho Vd}{\mu}$$

① 층류 :  $Re < 2100$

② 난류 :  $Re > 4000$

③ 천이유동 :  $2100 < Re < 4000$

④ 상임계 레이놀즈 수 :  $Re = 4000$ , 층류에서 난류로 변하는 레이놀즈 수

⑤ 하임계 레이놀즈 수 :  $Re = 2100$ , 난류에서 층류로 변하는 레이놀즈 수

## 2. 수평 원관에서 층류 운동(비압축성 점성유체의 정상유동)

- ① 전단응력(중앙  $r=0$ 에서  $\tau=0$ , 벽에서 최대, 선형으로 변화)

$$\tau = -\frac{r}{2} \frac{dP}{dL}, \quad \tau_{\max} = -\frac{r_0}{2} \frac{dP}{dL}$$

- ② 유속(중앙  $r=0$ 에서 최대, 벽에서  $u(r_0)=0$ , 포물선형태로 변화)

$$u(r) = -\frac{1}{4\mu} \frac{dP}{dL} (r_0^2 - r^2), \quad u_{\max} = -\frac{r_0^2}{4\mu} \frac{dP}{dL}$$

$$\frac{u(r)}{u_{\max}} = 1 - \left(\frac{r}{r_0}\right)^2$$

- ③ 유량 : 하겐-포아젤 방정식  $Q = \frac{\Delta P \pi d^4}{128 \mu L} = \frac{\pi R^4}{8 \mu L} (P_1 - P_2)$

- ④ 평균유속  $u_{\text{mean}} = \frac{Q}{A} = \frac{\Delta P d^2}{32 \mu L}, \quad u_{\max} = 2u_{\text{mean}}$

- ⑤ 압력강하  $\Delta P = \frac{128 \mu L Q}{\pi d^4}$

- ⑥ 손실두수(베르누이에서 구함)  $\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + h_L, \quad h_L = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{128 \mu L Q}{\gamma \pi d^4}$

## 3. 항력과 양력

- (1) 항력(drag) : 마찰항력 + 압력항력  $R = \sqrt{D^2 + L^2}$ , 유체 유동방향과 평행한 성분의 힘

- ① 마찰항력 : 물체의 표면 부근에서 유체의 점성 때문에 발생하는 힘  
 ② 압력항력 : 물체가 놓은 상류와 하류에서 표면에 미치는 압력차가 생겨 물체가 유동방향으로부터 유체에게 받는 힘(=형상항력), 원인 : 후류 발생

- ③ 전항력 :  $D = D_f + D_p = (C_f + C_p) A \frac{\rho V^2}{2} = C_D A \frac{\rho V^2}{2}$

- ④  $C_f$  : 마찰항력계수,  $C_p$  : 압력항력계수,  $C_D$  : 항력계수  
 항력계수는 물체의 형상, 유동방향, 점성, 물체의 표면조도 등에 따라 변화

- (2) 스토크스의 법칙

구 주위로 점성 비압축성 유체가 흐를 때  $Re < 10$ 이면 구가 받는 항력  $D = 3\pi \mu d V$

(3) 양력 : 유체의 유동방향과 직각방향으로 작용하는 성분의 힘

$$L = C_L A \frac{\rho V^2}{2}, \quad C_L : \text{항력계수}, \quad A : \text{투영면적}$$

(4) 항공기의 동력

$$L = D \cdot V = C_D A \frac{\rho V^2}{2}$$

(5) 익형(airfoil or wing)

날개 단면의 형상 - 항공기날개(airfoil), 회전차 날개(vane) 등

#### 4. 기출문제

##### 2004 조선산업기사

1. 유체 흐름에서 레이놀드(Reynolds)수란?

가. 관성력/점성력    나. 관성력/압력    다. 관성력/중력    라. 관성력/탄성력

##### 2004 조선산업기사

2. 어떤 액체가 지름 200mm인 수평원관 속을 흐르고 있다. 관벽에서 전단응력이 150Pa 이고, 관의 길이가 30m일 때 압력강하( $\Delta P$ )는?

가. 750kPa    나. 80kPa    **다. 90kPa**    라. 100kPa

해설 :  $\tau = \frac{r}{2} \frac{\Delta P}{L}, \quad \Delta P = 90kPa$

##### 2003 조선산업기사

3. 지름 1cm인 원관 속에 0°C의 물이 흐르고 있다. 물의 평균속도가 2m/s이면 레이놀드(Reynolds)수는?

(단, 0°C 물의 동점성계수( $\gamma$ )는  $0.0131 \text{ cm}^2/\text{s}$ 이다.)

가. 15267    나. 16378    다. 13045    라. 17489

해설 :  $Re = \frac{VD}{\gamma} = 15267$

### 2003 조선산업기사

4. 내경 5cm, 길이 3m인 곧은 관에서의 유체가 층류유동을 하고, 압력강하가  $0.09N/cm^2$  이라면 관벽에서의 전단응력은?

가.  $99.67N/m^2$       나.  $80.07N/m^2$       다.  $60.47N/m^2$       라.  $40.83N/m^2$

해설 :  $\tau = \frac{r}{2} \frac{\Delta P}{L} = 40.83N/m^2$

### 2003 조선기사

5. 원형 관속을 흐르는 유체의 전단응력에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 원형 단면의 모든 곳에서 일정하다.
- 나. 벽면에서 0이고 관 중심까지 직선적으로 증가한다.
- 다. 단면에서 포물선 형태로 변화한다.
- 라. 관 중심에서 0이고 벽면까지 직선적으로 증가한다.

### 2003 조선기사

6. 지름이 10cm인 공이 속도 3m/s로 날아가고 있다. 공기의 밀도가  $1.23kg/m^3$ , 항력계수가 0.4인 경우 항력은?

가.  $0.0174N$       나.  $0.174N$       다.  $1.74N$       라.  $17.4N$

해설 :  $D = C_D A \frac{\rho V^2}{2} = 0.0174N$

### 2004 조선기사

7. 직경 10cm인 원관에서 층류로 흐를 수 있는 임계 레이놀즈 수를 2100으로 할 때 층류로 흐를 수 있는 최대평균유속은?

(단, 관에는 동점성계수  $1.8 \cdot 10^{-6} m^2/s$ 의 물이 흐른다.)

가.  $3.78 \cdot 10^{-2} m/s$       나.  $2.46 \cdot 10^{-2} m/s$       다.  $2.10 \cdot 10^{-2} m/s$       라.  $1.88 \cdot 10^{-2} m/s$

해설 :  $Re = \frac{VD}{\nu}$ ,  $V = 0.0378m/s = 3.78 \cdot 10^{-2} m/s$

### 2004 조선기사

8. 전체 표면적이  $30m^2$ 이고 물에 침수된 표면적이  $20m^2$ 인 물체를 물 위에서  $10m/s$ 로 예인했을 때 항력이  $10kN$ 이었다면 항력계수는 얼마인가?

가.  $1.0 \cdot 10^{-2}$     나.  $1.0 \cdot 10^{-3}$     다.  $2.0 \cdot 10^{-2}$     라.  $1.5 \cdot 10^{-1}$

해설 : 공식에서 투영면적은 침수된  $20m^2$ 이고  $D = C_D A \frac{\rho V^2}{2}$ ,  $C_D = 0.01$

### 2009 조선기사

9. 원형 관속을 흐르는 유체의 전단응력에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 단면에서 포물선 형태로 변화한다.
- 나. 원형 단면의 모든 곳에서 일정하다.
- 다. 관 중심에서 0이고, 벽면까지 직선적으로 증가한다.
- 라. 벽면에서 0이고, 관 중심까지 직선적으로 증가한다.

### 2009 조선기사

10. 점성계수  $4.5 \cdot 10^{-3} kgf \cdot s/m^2$ , 비중 0.95인 기름이 내경 200mm인 원관 속을 흐를 때 층류에서 난류 유동으로 변화하는 속도는 약 몇 m/s인가?  
(단, 상임계 레이놀드수는 3600이다.)

가. 0.84    나. 0.085    다. 0.14    라. 0.015

해설 :  $Re = \frac{\rho VD}{\mu}$ ,  $V = 0.84m/s$

### 2002 조선산업기사

11. 수평 원관의 층류 설명에 관한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 속도 분포는 2차원 포물선으로 된다.
- 나. 벽면에서의 속도는 평균속도의 반이다.
- 다. 최대속도는 평균속도의 2배이다.
- 라. 원관의 중심에서 최대속도가 된다.

### 2003 조선기사

12. 와류 점성계수(eddy viscosity)에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 유체의 물질 특성이다.
- 나. 난류 운동의 특성이다.
- 다. 층류 운동의 특성이다.
- 라. 유체의 상수이다.

### 2004 조선기사

13. 유체 유동속에 잠겨있는 물체에 작용하는 양력은?

- 가. 항상 중력의 방향과 반대방향이다.
- 나. 물체에 작용하는 유체력의 합력이다.
- 다. 접근속도에 직각방향으로 물체에 작용하는 동력학적 유체력의 성분이다.
- 라. 부력과 마찰력의 합력이다.

### 2006 조선산업기사

14. 비행기가 하늘로 뜨게 되는 이유를 가장 적절하게 설명한 것은?

- 가. 비행기 동체가 공기 중에 진행함으로써 받는 항력에 기인한다.
- 나. 비행기 바퀴와 활주로 사이의 마찰력에 기인한다.
- 다. 날개 윗면과 아랫면에 작용하는 압력 차이로 발생하는 양력에 기인한다.
- 라. 비행기 날개와 지면 사이에 가속되는 유속의 영향에 기인한다.

# Section 026 경계층 이론 및 속도 포텐셜

## 1. 경계층

### (1) 정의

- ① 점성과 비점성이 구분되는 얇은 층
- ② 물체 근방에서 속도구배가 존재하는 층
- ③ 예 : 점성유체의 평판유동
- ④ 경계층 외부는 점성의 영향이 거의 없어 이상유체의 흐름으로 볼 수 있으며 이러한 비회전 이상유체의 흐름을 포텐셜 유동(potential flow)라 한다.

(2) 레이놀즈수  $Re_x = \frac{Vx}{\nu} = \frac{\rho Vx}{\mu}$

### (3) 평판유동에서 존재하는 구간

- ① 층류경계층 : 평판 선단으로부터 어느 정도 거리까지는 층류의 성질을 갖는 경계층
- ② 천이구역 : 층류경계층이 어느 정도 성장해가면 난류유동으로 변하는 데 그 과도구간을 천이역 또는 천이대라 한다.
- ③ 난류경계층 : 평판의 하류에서 난류의 성질을 갖고 있는 경계층
- ④ 층류저층 : 난류경계층 내부에서 성장한 층류층으로 점성저층 또는 층류막이라고 한다. 층류 흐름 내의 속도분포는 거의 포물선 형태지만 난류층 내 벽면 부근에서는 선형적으로 변한다.
- ⑤ 완충역 : 난류경계층 내에서 층류저층과 완전 난류역 사이에 유동의 불연속은 없으며 '층류와 난류를 완충시키는 구간을 말한다.
- ⑥ 평판유동에서 임계 레이놀즈 수(층류와 난류 구분)는  $5.0 \cdot 10^5$ 이다.

### (4) 경계층의 두께

이론상으로 경계층 내의 최대속도  $u$ 와 경계층 외부의 속도  $V$ 가 같아야하지만 실제로 정확히 측정하기 힘들기 때문에 경계층 내의 속도가 외부의 자유흐름속도의 99%가 되는 위치를 측정하여 경계층 두께로 구한다.

$y = \delta(x)$ 에서  $\frac{u(x, \delta)}{V} = 0.99$

### (5) 평판 유동에서의 경계층 두께(균일속도가 작고 점성이 클수록 얇다.)

- ① 층류경계층 두께 :  $\frac{\delta}{x} = \frac{5.0}{Re_x^{1/2}}$  두께는  $x^{1/2}$ 에 비례
- ② 난류경계층 두께 :  $\frac{\delta}{x} = \frac{0.376}{Re_x^{1/5}}$  or  $\frac{0.16}{Re_x^{1/7}}$  즉 두께는  $x^{4/5}$  또는  $x^{6/7}$ 에 비례

(6) 경계층의 박리와 후류(원통 주위의 흐름)

① 순구배 구역 : 유체가 원통을 따라 흐를 때 진입성분의 수직되는 면(90°)까지의 구간 유체가 면을 따라 흐를 때 속도가 증가하고 압력이 감소하며 수직 점에서 유속이 최대가 된다.  $\frac{\partial u}{\partial x} > 0, \frac{\partial P}{\partial x} < 0$

② 역구배 구역 : 순구배 구역이 끝난 이후 구간으로 유체가 고체면을 따라 표면 저항이 증가하여 유속은 감소하고 압력은 증가하게 된다.  $\frac{\partial u}{\partial x} < 0, \frac{\partial P}{\partial x} > 0$   
이 구간에서는 벽에서 멀리 떨어진 유체의 흐름은 관성과 유속이 커서 높은 압력에서도 하류까지 유동이 유지되지만 벽 근방 유체의 흐름은 유속과 관성이 감소하여 증가한 압력을 견디지 못하고 역류현상이 발생하게 된다.

③ 역압력 구배 : 경계층의 한 계면에서 유속은 감소하지만 압력은 증가하게 되는 구간 즉, 역구배 구역 내에서 박리점까지의 구간을 말한다.

④ 박리(separation) : 벽면 근방 유체층의 유체 입자들이 물체 뒷부분에서 속도 감소와 압력 증가(역압력 구배 때문)로 인해 유선을 이탈하는 현상

⑤ 박리점 : 박리가 시작되는 지점  $\frac{\partial u}{\partial y}|_{y=0} = 0$

⑥ 박리역 : 박리가 시작되어 물체 뒷면에서 불규칙한 유체의 흐름이 발생한 구역

⑦ 후류(wake) : 박리역이 하류로 연장되면서 속도구배가 큰 회전유동이 발생하는 것 압력손실 때문에 발생한다. (형상저항이 큰 영향)

⑧ 압력항력(형상항력) : 후류 현상 때문에 물체 전·후방의 압력차로 인해 물체가 유동 방향으로 유체로부터 받는 힘(후류로 인해 뒷부분의 압력이 낮아져 항력이 생김)

(7) 층류와 난류 흐름에서의 박리현상

층류보다 난류의 유체입자 운동성이 크기 때문에 경계층의 역압력 구배 영역에서 난류 유체 입자들이 역압력 구배를 더 잘 견디게 되며 따라서 난류 경계층에서 발생하는 박리점이 층류 경계층의 그 것보다 물체의 뒤쪽에 위치하게 된다.

(8) 원주 주위의 유동

원주 주위로 이상유체가 흘러갈 경우 원주 표면의 임의의 점에서의 유속

$v = 2V \sin\theta$ ,  $V$  : 원주상류의 균속도,  $\theta$  : 정체점에서 시계방향으로 임의의 지점까지의 각

(9) 순환(circulation)

Kutta-Joukowski 정리(순환유동을 통해 양력발생의 이론 설명)  
순환은 항력과 양력을 발생시키는 원동력이 되는 유동 특성이며  
순환이 없으면 항력=양력=0이다.

## 2. 유동함수와 속도 포텐셜

(1) 유동함수

압력과 속도를 구하기 위해서는 연속방정식과 운동량방정식을 동시에 풀어야하지만 유동함수를 도입하면 연속방정식을 사용하지 않고도 운동량방정식만으로 계산 가능

2차원 정상류 비압축성 유동의 연속방정식

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad \psi : \text{유동함수}$$

$$\text{비회전 조건 } \nabla^2 \psi = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (\text{2계 라플라스 방정식})$$

- ①  $\psi = \text{const.}$  는 유선을 표시한다.
- ② 두 개의 유선에서 간격이 좁은 곳의 속도는 빠르다.
- ③ 연속조건과 관계가 있다.

(2) 속도 포텐셜

- ① 성립조건 : 비압축성, 비점성, 연속성
- ② 비회전성 :  $\nabla \times \vec{V} = 0, \vec{V} = \nabla \phi, \phi : \text{속도 포텐셜 함수}$
- ③  $u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, v = \frac{\partial \phi}{\partial y}, w = \frac{\partial \phi}{\partial z}$
- ④ xy좌표상의 비회전·비압축성유동이면 속도포텐셜 함수, 유동함수, 속도의 관계는

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

### 3. 기출문제

#### 2004 조선기사

1. 경계층에 대한 설명으로 잘못된 것은?

가. 벽면에서 수직방향으로 속도구배가 있는 영역이다.

나. 경계층은 층류에서 난류로 바뀔에 따라 없어진다.

다. 물체 표면부근에서 점성의 영향을 무시할 수 없는 얇은 층이다.

라. 경계층 내부에서는 전단응력이 크게 작용한다.

#### 2004 조선기사

2. 유동함수  $\psi$ 에 관한 설명으로 틀린 것은?

가.  $\psi = const.$ 는 유선을 표시한다.

나. 두 개의 유선에서 간격이 좁은 곳에서의 속도는 빠르다.

다. 유동함수는 연속조건과 관계가 있다.

라. x방향의 속도는  $\psi$ 의 x방향의 기울기  $\partial\psi/\partial x$ 로 주어진다.

#### 2004 조선기사

3. 평판에서 생기는 층류 경계층의 두께  $\delta$ 는 평판 선단으로부터의 거리  $x$ 와 어떤 관계가 있는가?

가.  $x$ 에 비례한다. 나.  $x^2$ 에 비례한다. 다.  $x^{1/2}$ 에 비례한다. 라.  $x^{2/3}$ 에 비례한다.

#### 2009 조선기사

4. 물체 주위에 생긴 순환(Circulation)유동을 통해 양력발생의 이론을 설명한 정리는?

가. Magnus 정리 나. Navier-Stokes 정리

다. D'Alembert 정리 라. Kutta-Joukowski 정리

#### 2009 조선기사

5. 다음 중 속도포텐셜(Velocity potential)의 성립조건과 관계없는 유체의 특성은?

가. 비점성 나. 압축성 다. 비회전성 라. 연속성

#### 2009 조선기사

6. 다음 중 형상항력(Form drag)의 주된 원인은?

가. 표면마찰 나. 유속의 증가 다. 박리의 발생 라. 정체점의 유동 파괴

### 2003 조선기사

7. 경계층에 관한 설명 중 틀린 것은?

가. 평판 위 흐름에서 경계층 내의 천이영역의 레이놀드 수는 보통  $5 \times 10^5$ 이다.

나. 경계층 내에서는 속도구배가 크기 때문에 마찰응력이 감소한다.

다. 경계층 내에도 층류와 난류의 영역이 생긴다.

라. 경계층 밖의 흐름은 포텐셜 흐름이다.

해설 : 경계층 내에서는 점성의 영향이 크기 때문에 마찰응력도 크다.

### 2003 조선기사

8. 평판상의 흐름에서 난류 경계층의 두께는?

(단,  $x$ 는 평판의 선단에서 떨어진 거리)

가.  $x^{1/3}$ 에 비례하여 변한다.

나.  $x^{1/2}$ 에 비례하여 변한다.

다.  $x^{1/5}$ 에 비례하여 변한다.

라.  $x^{4/5}$ 에 비례하여 변한다.

### 2004 조선기사

9. 복소포텐셜  $W(z) = 2z$ 인 유체 유동의 속도 성분을  $u, v$ 라고 할 때 옳은 관계식은?

가.  $u = 2x, v = 2y$     나.  $u = 2, v = 2$     다.  $u = 2, v = 0$     라.  $u = 0, v = 2$

### 2006 조선산업기사

10. 유체 흐름이 층류인지 난류인지를 판단할 때 사용되는 무차원수는?

가. 프루드수    나. 웨버수    다. 동점성계수    라. 레이놀드수

### 2006 조선산업기사

11. 간격이 작은 두 평행평판 사이에 액체가 층류유동을 할 때 가장 중요한 힘은?

가. 관성력과 점성력    나. 압력과 관성력    다. 중력과 압력    라. 압력과 점성력

해설 : 층류유동에서 가장 중요한 무차원수는 레이놀드 수이다.

## 2006 조선산업기사

12. 수평 원관 속에 유체가 층류로 흐를 때 전단응력을 옳게 설명한 것은?

가. 관 중심에서 최대이고, 관 벽으로 갈수록 포물선 형태로 감소한다.

나. 관 벽에서 0이고, 관 중심으로 갈수록 직선적으로 증가한다.

다. 관 중심이나 관 벽 모두 동일한 값을 갖는다.

라. 관 중심에서 0이고, 관벽으로 갈수록 직선적으로 증가한다.

# Section 027 차원해석과 상사법칙

## 1. 차원해석

동차성의 원리를 이용하여 물리적 현상을 지배하는 물리량들을 무차원수로 만들고 이들 무차원수의 함수관계를 결정하는 절차

### (1) 동차성의 원리

물리적 관계를 나타내는 방정식에서 좌변과 우변의 차원은 같아야하며 합과 차를 표시할 때도 각 항은 동일한 차원을 가지고 있어야한다는 개념

ex) 유체의 운동량방정식, 베르누이 방정식

### (2) 차원해석법 : 버킹엄의 $\pi$ 정리

어떤 물리적 현상을 지배하는 물리변수  $n$ 개에 기본 차원수가  $m$ 개일 때, 그 물리적 현상을  $(n-m)$ 개의 독립 무차원 매개변수로 표현할 수 있다는 것

물리변수  $n$ 개의 물리적 함수 관계는  $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$

독립 무차원 함수  $g(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0$

- ① 물리 현상을 지배하는 물리변수들을 찾아 함수관계로 표현한다.
  - ② 기본 차원을 선정한다. ( $L, T, M$ )
  - ③  $n$ 개의 물리량 중에서 기본차원수  $m$ 개만큼 반복변수를 선택한다.
    - ㉠ 기하학적 특성을 대표하는 변수 : 길이, 면적 등
    - ㉡ 운동학적 특성을 대표하는 변수 : 속도, 유량, 압력 등
    - ㉢ 유체의 질량 또는 무게를 대표하는 변수 : 밀도, 점성계수, 비중량 등
    - ㉣ 종속변수는 반복변수로 택하지 않는다.
    - ㉤ 반복변수의 개수는 기본차원수와 동일하게 선택하고 기본차원을 모두 포함해야 한다.
  - ④ 결정된 반복변수를 이용해서  $(n-m)$ 개의 독립 무차원 매개변수를 결정한다.
  - ⑤ 좌우변의 차수를 동일하게 만든다. (우변의 멱수 0으로 좌변을 맞춰준다.)
  - ⑥ 변수 중 동일차원을 가지는 변수가 있을 경우 대표성을 가지는 변수를 기준으로 그 변수에 대한 비를 무차원수로 한다.
  - ⑦  $n-m$ 개의 무차원수가 결정되면 함수 관계는  $g(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0$ 로 표현한다.
- \* 좌변 : 반복변수의 멱수를 차례로 a, b, c라 하고 반복변수가 아닌 것은 1승으로 하며 식마다 하나씩 번갈아 쓴다.

## 2. 상사법칙

모형실험을 할 때 실형과 유체 흐름을 동일하게 만들어주는 조건. (=상사율)

m=model(모형), p=prototype(실형), r=모형과 실형의 비(ratio),  $L_r$ =선장비(length ratio)

### (1) 기하학적 상사

경계를 이루고 있는 물체를 포함하여 실형과 모형 사이에 대응하는 모든 치수의 비(길이, 면적, 부피)가 일정해야함을 의미

① 길이  $\frac{L_m}{L_p} = L_r$

② 면적  $\frac{A_m}{A_p} = \frac{L_m^2}{L_p^2} = L_r^2$

③ 부피  $\frac{V_m}{V_p} = \frac{L_m^3}{L_p^3} = L_r^3$

### (2) 운동학적 상사

유선이 기하학적 상사를 이루는 실형과 모형 사이에 각각 대응하는 점에서 속도, 가속도, 그리고 유량 등의 값은 일정한 관계에 있어야함을 의미

① 속도  $\frac{V_m}{V_p} = \frac{L_m/T_m}{L_p/T_p} = \frac{L_r}{T_r}$

② 가속도  $\frac{a_m}{a_p} = \frac{L_m/T_m^2}{L_p/T_p^2} = \frac{L_r}{T_r^2}$

③ 유량  $\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{L_m^3/T_m}{L_p^3/T_p} = \frac{L_r^3}{T_r}$

### (3) 역학적 상사(실형과 모형에서 같아야한다.)

항력, 양력, 관속유동, 경계층, 풍동, 압축성 유체, 잠수함 등 : 레이놀즈 수

조파저항실험, 자유표면실험 : 프루드 수

방수로 내의 흐름에 관한 프루드 수에서 L은 폭이 아니라 수심이다.

기하학적 상사와 운동학적 상사 하에 있는 실형과 모형 사이에 서로 대응하는 점에 대해서는 작용하는 힘의 방향이 일치해야 하고 또한 그 크기의 비가 일정해야한다는 조건, 물체에 작용하는 힘의 합은 뉴턴의 운동법칙에 따라 관성력과 같아야 한다.

① 레이놀즈 수  $Re = \frac{\text{관성력}}{\text{점성력}} = \frac{VL}{\nu} = \frac{\rho VL}{\mu}$ , 거의 모든 유체 운동장에서 중요

- ② 프루드 수  $Fr = \frac{\text{관성력}}{\text{중력}} = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ , 자유표면운동에 있어 중요(조파저항, 개수로 등)
- ③ 오일러 수  $Eu = \frac{\text{압축력}}{\text{관성력}} = \frac{P}{\rho V^2}$ , 두 점 사이의 압력차가 큰 유동에서 중요
- ④ 압력계수  $C_p = \frac{\text{압력}}{\text{동압}} = \frac{P}{\rho V^2/2}$
- ⑤ 마하수  $M = \frac{\text{속도}}{\text{음파속도}} = \frac{V}{C}$
- ⑥ 코우시수  $Ca = \frac{\text{관성력}}{\text{탄성력}} = \frac{\rho V^2}{K}$ , 압축성유체의 유동에서 중요
- ⑦ 웨버수  $Wb = \frac{\text{관성력}}{\text{표면장력}} = \frac{\rho V^2 L}{\sigma}$ , 물방울, 기포생성, 박막유동 등 두 유체의 접촉면을 갖는 유동에서 중요
- ⑧ 비열비  $\chi = \frac{\text{엔탈피}}{\text{내부에너지}} = \frac{C_p}{C_v}$ ,  $C_p$  : 정압비열,  $C_v$  : 정적비열
- ⑨ 력계수  $C = \frac{F}{\frac{1}{2}\rho A V^2}$ , 유체 속에 잠겨있는 물체에 작용하는 힘과 관성력의 비
- 양력계수  $C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho A V^2}$
- 항력계수  $C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho A V^2}$

### 3. 기출문제

#### 2003 조선산업기사

1. 길이 100m, 속도 15knot인 선박에 대하여, 길이 10m인 모형선을 제작하여 수조시험하는 경우, 모형선의 대응속도는?

- 가. 2.94knot      나. 4.06knot      **다. 4.74knot**      라. 5.95knot

해설 : 선박은 프루드수를 같게 해주므로  $15/\sqrt{10} = 4.74knot$

2009 조선기사

2. 다음 중 관성력과 중력의 비로 표시되는 무차원 수는?

- 가. 웨버(Weber)수   나. 오일러(Euler)수
- 다. 프루드(Froude)수   라. 레이놀드(Reynolds)수

2004 조선기사, 2009 조선기사

3. 축적이 1/100인 모형선 속도가 1m/s이고 자유표면 교란으로 인한 저항이 1N이었다면 이 때의 실선에서의 자유표면교란으로 인한 저항값은?  
(단, 모형선, 실선에서의 물의 밀도는 1000kg/m³, 모형선의 침수면적은 1㎡이다.)

- 가. 10kN   나. 1000kN   다. 50kN   라. 5kN

해설 : 축적에 의해 면적은 10<sup>4</sup>배, 속도는 프루드수의 상사에 의해 10배이다. 따라서 항력 계수의 상사에 의해 10<sup>6</sup>배가 되어 1000kN이 된다.

2004 조선기사

4. 비압축성 유동에서 자유수면이 없는 경우 물수체의 원형과 모형 사이에 상사를 이루어야 할 무차원 수는?

- 가. 레이놀즈 수   나. 프루드 수   다. 웨버 수   라. 캐비테이션 수

해설 : 자유수면이 없으므로 레이놀즈 수가 상사를 이루어야 한다.

2004 조선산업기사

5. 선체 표면에 작용하는 마찰력을 무차원화한 계수가 마찰계수이다. 축척비 1:100의 모형선에 적용하는 마찰계수는 실선에 적용하는 마찰계수에 비하여 어떠한가?

- 가. 적다.   나. 크다.   다. 똑같다.   라. 비슷하다.

해설 : 모형선  $C_F = \frac{D_F}{\frac{1}{2}\rho A V^2}$  에서 단면적은 λ<sup>2</sup>배이고 선체이므로 프루드수에서 살펴보면

속도는 √λ 에 비례하므로 실선  $C_F' = \frac{D_F}{\frac{1}{2}\rho A' V'^2} = \frac{D_F}{\frac{1}{2}\rho \lambda^2 A \lambda V^2} = \frac{1}{\lambda^3} C_F$  이고 따라서 모형

선의 마찰계수가 실선의 마찰계수보다 λ<sup>3</sup>배 크다.

#### 2004 조선기사

6. 침수표면적이 2350㎡이고 배수량이 9500ton인 선박이 있다. 배수량이 3500ton인 상사선의 개략적인 침수표면적은?

가. 1200㎡ 나. 1208㎡ 다. 1216㎡ 라. 1232㎡

해설 : 배수량은 길이의 세제곱, 침수표면적은 길이의 제곱이다.

따라서 배수량은  $\frac{9500}{3500} = 2.714 = \lambda^3$ ,  $\lambda = 1.395$ 이며 침수표면적은  $\frac{2350}{\lambda^2} \approx 1208$ 이 된다.

#### 2004 조선기사

7. 직선 치수비가 n배되는 상사 선박을 계획할 때 옳은 설명은?

가. 수선면적은 2n배가 된다.

나. 배수량은  $n^3$ 배가 된다.

다. 속장비는  $n^2$ 배가 된다.

라. 기관출력은 n배가 된다.

#### 2006 조선산업기사

8. 실선의 조파저항을 추정하기 위하여 모형시험을 수행하고자 한다. 이 때 상사법칙을 만족해야 하는 무차원 수는?

가. 레이놀즈수 나. 프루드수 다. 마하수 라. 웨버수

해설 : 조파저항은 자유표면에서의 운동이므로 프루드수가 같아야 한다.

# Section 028 관로유동

## 1. 관로유동 : 원관에서의 손실

(1) 달시-바이스바하 방정식

$$h_L = \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}, \lambda : \text{관마찰계수}$$

(2) 관마찰계수 : 층류영역

$Re < 2100$ 인 층류지역에서 하겐-포아젤의 방정식을 이용하면  $\lambda = \frac{64}{Re}$   
레이놀즈 수만 관계한다.

(3) 관마찰계수 : 천이영역

$2100 < Re < 4000$ 에서 레이놀즈 수와 상대조도의 함수이므로 무디선도를 이용해서 구한다.

(4) 관마찰계수 : 난류영역( $Re > 4000$ )

매끈한 관에서 Blasius의 실험식  $\lambda = 0.3164 Re^{-\frac{1}{4}}$ ,  $3000 < Re < 100000$   
레이놀즈 수만 관계한다.

\* 평판상의 층류흐름 : Blasius의  $\lambda = 1.328 Re^{-1/2}$

(5) 무디선도 : 상대조도( $e/d$ )와 레이놀즈 수와의 관계에서 관마찰계수를 구하는 선도

(6) 동력손실  $L = \gamma Q h_L$

## 2. 부차적 손실

유체가 관로를 흐를 때 마찰 손실 이외 단면적 변화, 유동방향 변화 등 기타 요인으로 인한 손실을 부차적 손실이라고 한다.

$$h_L = K \frac{V^2}{2g}, K : \text{손실계수}$$

주로 관 입구, 출구, 단면적 변화부, 벤드, 엘보, 밸브 등에서 발생한다.

(1) 돌연확대관의 손실

$$h_L = \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g} = K \frac{V_1^2}{2g}, K = [1 - (\frac{d_1}{d_2})^2]^2 // \text{ 관에서 탱크로 방출될 때 } K \approx 1$$

(2) 돌연축소관의 손실

단면 ① : 직경이 작은 관으로 통하는 입구부근의 좁은 지점

$$h_L = \frac{(V_0 - V_2)^2}{2g} = K \frac{V_2^2}{2g}, K = [\frac{1}{C_c} - 1]^2 // \text{ 탱크벽에서 수직관으로 유출 시 } K = 0.5$$

$$\text{축소계수 (=수축계수) } C_c = \frac{A_0}{A_2} = (\frac{d_0}{d_2})^2$$

(3) 관의 상당길이

부차적 손실의 크기를 관 마찰에 의한 손실로 표현된 관의 길이로 나타낸 것  
배관망 해석시 일일이 부차적 손실을 계산하지 않고 상당길이를 구해서 달시-바이스바하  
식으로 손실수두를 계산

$$\lambda \frac{L_e}{d} \frac{V^2}{2g} = K \frac{V^2}{2g}, L_e = \frac{K \cdot d}{\lambda}, \text{ 두 배관계의 등과관이 되기 위한 조건이다.}$$

(4) 점차확대관에서의 손실

확대각  $\theta$ 가 5~8도 사이에서 손실계수가 최소, 62~65도 사이에서 최대가 된다.

### 3. 병렬관

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = A_1 V_1 + A_2 V_2 + A_3 V_3 = (A V)_A = (A V)_B$$

$$h_L = \frac{(P_A - P_B)}{\gamma} + (Z_A - Z_B) = h_{L1} = h_{L2} = h_{L3}$$

$$h_L = h_{L1} = h_{L2} = h_{L3} = \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

#### 4. 기출문제

##### 2003 조선기사

1. 개수로 유동에서 역학적인 상사를 맞추기 위하여 가장 크게 고려해야 하는 무차원수는?

가. 레이놀즈수    나. 프루드수    다. 오일러수    라. 마하수

해설 : 개수로는 자유표면이 존재하므로 프루드수를 고려해야 한다.

##### 2004 조선기사, 2009 조선기사

2. 다음 중 관마찰계수의 함수를 이루는 매개변수로만 옳게 짝지어진 것은?

가. 레이놀드수와 마하수    나. 레이놀드수와 상대조도  
다. 프루드수와 상대조도    라. 레이놀드수와 프루드수

##### 2002 조선산업기사

3. 안지름 0.1m인 수평 원관 내를 평균유속 5m/sec로 물이 흐르고 있다. 길이 10m 사이에서 나타나는 손실수두는?

(단, 관마찰계수는 0.013이다.)

가. 1.43m            나. 1.78m            다. 3.32m            라. 1.66m

해설 :  $h_L = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} = 1.66m$

##### 2003 조선기사

4. 급확대관에서 손실수두와 속도차와의 관계는?

가. 손실수두는 속도차에 비례한다.  
나. 손실수두는 속도차의 제곱에 비례한다.  
다. 손실수두는 속도차의 제곱에 반비례한다.  
라. 손실수두와 속도차는 무관하다.

##### 2004 조선산업기사

5. 관 속을 유체가 흐를 때 관마찰계수 f는?

가. 레이놀드수와 상대조도와의 함수가 된다.  
나. 마하수와 코시수의 함수가 된다.  
다. 상대조도와 오일러수의 함수가 된다.  
라. 언제나 레이놀드수만의 함수가 된다.

# Section 029 음속유동과 파 이론

## 1. 노즐의 음속유동

(1) 아음속유동  $M < 1, \frac{dA}{dV} < 0$

(2) 초음속유동  $M > 1, \frac{dA}{dV} > 0$

(3) 음속유동  $M = 1, \frac{dA}{dV} = 0$

## 2. 파 이론

① 정상파 : 수면이 정해진 장소에서 상하운동만 하고 진행하지 않는 파

② 표면파 : 수심에 비하여 파장이 짧은 파

$$w = \sqrt{k \cdot g}, w: \text{파동}, k: \text{파수}$$

$$\text{단위면적당 에너지 } E = \frac{1}{2} \rho g \zeta^2$$

③ 표면장력파 및 모세파 : 표면장력에 의하여 지배됨

④ 선형파 : 파장이 길수록 빨리 퍼진다.

⑤ 수면파 : 파도의 골 아래쪽 압력이 증가한다.

⑥ 병진파 : 파의 퍼져나가는 쪽으로 질량 이동이 이루어진다.

⑦ 수심이 매우 깊은 곳에서의 진행파 :  $V = R w = \frac{g}{w} = \frac{g T}{2\pi}, w = \sqrt{\frac{g}{R}}, T : \text{주기}$

## 3. 기출문제

### 2004 조선기사

1. 표면파의 파수를  $k$ , 파장을  $\lambda$ , 원진동수를  $w$ 라고 할 때 옳은 관계식은?

가.  $w = 2\pi/\lambda$    나.  $k = w/g$    **다.  $w = \sqrt{k \cdot g}$**    라.  $\lambda = g \cdot w/2\pi$

### 2004 조선기사

2. 다음 중 수면파의 설명으로 잘못된 것은?

가. 수면이 정해진 장소에서 상하 운동만하고 진행하지 않는 파를 정상파라 한다.

**나. 수파(水波)는 물의 표면에서만 생성된다.**

다. 표면파는 수심에 비하여 파장이 짧은 파(波)이다.

라. 표면장력파 또는 모세파는 주로 표면장력에 의하여 지배된다.

2009 조선기사

3. 다음 중 파도 이론에 대한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 선형파는 파장이 길수록 빨리 퍼진다.
- 나. 수면파에서 파도의 골 아래쪽의 압력이 증가한다.
- 다. 병진파에 있어서는 파의 퍼져나가는 방향으로 질량이동이 이루어진다.
- 라. 심해에서 물 입자는 타원형의 궤적에 따라 움직이며, 수심이 증가할수록 단축이 작아진다.

2009 조선기사

4. 초음속으로 이동하는 관유동에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 관의 단면적이 증가하면 속도는 증가하고 압력은 감소한다.
- 나. 관의 단면적이 증가하면 속도는 증가하고 압력도 증가한다.
- 다. 관의 단면적이 증가하면 속도는 감소하고 압력은 증가한다.
- 라. 관의 단면적이 증가하여도 속도는 일정하나 압력은 감소한다.

해설 : 초음속에서  $\frac{dA}{dV} > 0$ 이므로 단면적이 증가하면 속도도 증가하며 단면적이 증가하면 상대적으로 압력은 감소한다.

2003 조선기사

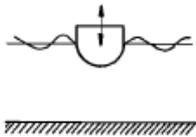
5. 표면파의 단위면적당 에너지 E는?  
(단,  $\rho$ 는 밀도,  $g$ 는 중력가속도,  $\zeta$ 는 파의 진폭이다.)

- 가.  $E = \frac{1}{2} \rho g \zeta^2$     나.  $E = \frac{1}{4} \rho g \zeta^2$     다.  $E = \frac{1}{2} \rho g^2 \zeta$     라.  $E = \frac{1}{4} \rho g^2 \zeta$

2003 조선기사

6. 아래 그림과 같이 부유체가 정수면에서 상하운동을 할 때 발생하는 파도의 역학적 의미는?

- 가. 부가질량을 의미한다.
- 나. 감쇄력을 의미한다.
- 다. 기진력을 의미한다.
- 라. 역학적 의미가 없다.



2004 조선산업기사

7. 배가 물 위에 떠있을 때 이 배의 배수량과 관계가 없는 것은?

- 가. 부력
- 나. 배의 무게
- 다. 물의 비중량 x 배수 체적
- 라. 가로메타센터 높이 x 배의 경사각

2009 조선기사

8. 심해에서의 조화파형과 유한한 높이를 가지는 파형에서 파수(Wave number)를 나타낸 식으로 옳은 것은?

(단,  $w$  : 원(Circular)진동수,  $g$  : 중력가속도이다.)

- 가.  $\frac{g}{2w^2}$
- 나.  $\frac{w}{g}$
- 다.  $\frac{w^2}{g}$
- 라.  $\frac{w^2}{2g}$

해설 :  $w = \sqrt{k \cdot g}$  에서  $k = w^2/g$ 이다.

2003 조선기사

9. 주기가 7초인 진행파에서 파의 전진속도는?

- 가. 약 6.4m/s
- 나. 약 8.2m/s
- 다. 약 10.9m/s
- 라. 약 13.6m/s

해설 :  $V = \frac{gT}{2\pi} = 10.92m/s$

2004 조선기사

10. 유의 파고(significant wave height)에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 일정시간 동안 발생된 파들의 평균 파고
- 나. 가장 빈번히 생기는파들의 평균 파고
- 다. 높은 파부터 전체 1/3개를 취하여 평균을 한 파고
- 라. 낮은 파부터 전체 1/3개를 취하여 평균을 한 파고

# Section 030 구명·통신·항해 설비

## 1. 구명기구

### (1) 구명정의 특징

- ① 배에 익숙하지 않아도 용이하게 조작 가능해야 한다.
- ② 정원 탑승 시 충분한 부력이 있어야 한다.
- ③ 복원성, 내파성이 커야한다.
- ④ 정원은 내부용적을 0.283㎥으로 나누어 얻어지는 최대의 정수로 한다.
- ⑤ 신호장치(의장품) : 낙하산불이신호, 신호용 불꽃, 일광 신호거울, 모스 신호용 전기등

### (2) 보트 대빛(boat davit)

구명정을 갑판 위로 올리고 내리는 장치이다.

- ① 래디얼(radial) 대빛 : 대빛을 수직축의 주위로 회전시켜 보트를 배 밖으로 내보낸다.
- ② 러핑형(luffing) 대빛 : 회전이나 평행이동을 인력으로 한다.
- ③ 중력형(gravity davit) : 회전이나 평행이동을 대빛의 암의 중량을 이용해서 행한다.

### (3) 기타구명기구

- ① 구명뗏목 : 비상식량, 신호장치, 의약품 등이 비치되어 있으며 자항능력이 없다.
- ② 구명부환 : 도넛형의 튜브를 말한다.
- ③ 구명동의 : 구명조끼를 말한다.
- ④ 구명밧줄 발사기, 구명부기, 단정
- ⑤ 신호장치 : 자기점화등, 자기발연신호, 낙하산불이 신호, 신호용 불꽃, 발연 신호기, 수밀 손전등, 일광 신호거울

## 2. 통신설비 및 항해기구

### (1) 통신설비

- ① 전성관(voice tube)
- ② 텔레그래프(telegraph, 전신)
- ③ 무선통신장치(wireless installation)
- ④ 선내전화(inboard telephone)
- ⑤ 신호경보장치(alarm system)

### (2) 항해기구

- ① 나침의(compass) : 자기컴퍼스(magnetic compass), 자이로 컴퍼스(gyro compass)
- ② 측심의(배에서 수심을 측정) : 수용측선, 심해측선, 기계측심의, 음향측심의(Echo sounding)
- ③ 측정의(배의 속도와 항해거리 측정) : 수용·예항식·압력식·전자 측정기(log), 모래시계
- ④ 무선 방위 측정기
- ⑤ 레이더와 로란
- ⑥ 항해용 정밀 시계(크로노미터, Chronometer)
- ⑦ 육분의
- ⑧ 박용시계(ship clock)
- ⑨ 쌍안경
- ⑩ 기압계(barometer)
- ⑪ 해수용 온도계

## 3. 기출문제

### 2004 조선기사

1. 구명정에 대한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 복원력이 커야 한다.
- 나. 내파성이 커야 한다.
- 다. 속도가 커야 한다.
- 라. 내부에 부체가 격납된다

### 2002 조선산업기사

2. 구멍정에 관한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 만재상태에서 침수되어도 침몰해서는 안 된다.
- 나. 구멍정의 정원은 구멍정의 용적을 어떤 정해진 상수로 나누어서 구한다.
- 다. 전승조원이 승선할 수 있는 구멍정 1척만을 비치하도록 요구하고 있다.
- 라. 구멍정은 전문지식이 없는 사람도 쉽게 다룰 수 있어야 한다.

### 2003 조선기사

3. 구멍정에 표시되지 않는 것은?

- 가. 주요치수 나. 만재중량 다. 전진속력 라. 제조년월일

### 2003 조선산업기사

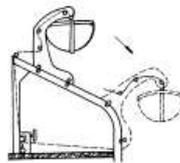
4. 선박이 조난한 경우 해상에 투하하여 이 곳에 탑승하거나 붙잡고 구조를 기다리는 목적에 사용되며, 신호장치, 의약품, 비상식량 등이 비치된 자항능력이 없는 구멍설비는?

- 가. 구조정 나. 구멍정 다. 구멍부환 라. 구멍뗏목

### 2004 조선산업기사

5. 아래 그림에 표시된 보트 대빗의 형식은?

- 가. 쿼드런트 대빗(quadrant davit)
- 나. 중력식 대빗(gravity davit)
- 다. 피벗형 대빗(pivot type davit)
- 라. 회전식 대빗(rotary davit)



### 2006 조선산업기사

6. 다음 중 구멍설비가 아닌 것은?

- 가. 구멍정 나. 소화정 다. 구멍 부기 라. 단정

### 2004 조선산업기사

7. 선박의 속력을 측정하는데 사용되는 기구는?

- 가. 자이로 컴퍼스(gyro compass)
- 나. 압력 로그(pressure log)
- 다. 로런(loarn)
- 다. 음향 측정기(echo sounder)

**2009 조선기사**

8. 다음 신호장치 중 구명정에 비치되는 것이 아닌 것은?

- 가. 신호홍염(Hand flares)
- 나. 낙하산불이신호(Parachute signals)
- 다. 발연부신호(Buoyant smoke signals)
- 라. 자기점화등(Self-lighting lights)

**2009 조선기사**

9. 선박의 속력을 측정하는데 사용되는 항해계기는?

- 가. 크로노미터(Chronometer)
- 나. 에코 사운더(Echo sounder)
- 다. 전자로그(Electromagnetic log)
- 라. 자기 컴퍼스(Magnetic compass)

**2003 조선기사**

10. 다음 중 선내 통신장치는?

- 가. 무선전신   나. 전성관   다. 신호등   라. 벨

해설 : 무선전신은 외부와의 통신, 신호등은 신호기구, 벨은 알람장치이다.

**2004 조선기사**

11. 다음 중 선내 통신장치에 속하지 않는 것은?

- 가. 전성관(voice tube)
- 나. 인터폰(interphone)
- 다. 엔진 텔레그래프(engine telegraph)
- 라. 컴퍼스(compass)

**2004 조선기사**

12. 선박의 항해용구로만 짝지어져 있는 것은?

- 가. 자이로컴퍼스, 크로노미터, 육분의
- 나. 마스트, 윈치, 데릭 포스트
- 다. 양화기, 앵커, 로프
- 라. 크리트, 링 볼트, 블라드

# Section 031 의장수 및 계선설비

## 1. 의장수

앵커(anchor, 닻), 앵커체인(anchor chain, 닻줄), 로프(rope)의 수량, 치수, 중량은 선박설비 규정이나 선급협회의 규칙에 정해진 의장비에 따라 결정되지만 강도는 계류작업 중 배에 작용하는 풍압을 기준으로 한다.

$\Delta^{2/3} + 2B \cdot H + 0.1A$ 로 구할 수 있으며 B는 형폭, H는 수선위에서의 배의 높이(선측 유효 높이), A는 수선 상부의 투영면적이다. H와 A는 B의 1/4이하의 높이를 가진 덕의 높이와 넓이는 무시한다.

## 2. 계선설비

### (1) 앵커(anchor, 닻)

- ① 스톡 앵커(stock anchor) : 파지력이 크나 대형의 것은 취급방법과 격납이 어렵다. 무게는 스톡을 제외한 무게이며 닻 무게의 1/4이상 되어야 한다.
- ② 스톡리스 앵커(stockless anchor) : 스톡이 없으며 대빛이나 앵커 베드의 설비가 필요 없고 취급과 격납이 간단하며 묘쇄공(hawse pipe)에 넣으면 떨어질 필요도 없고 손을 댈 필요도 없어 대형선(군함 포함) 거리가 사용하며 생크를 제외한 무게가 총무게의 3/5이상 되어야 한다. 앵커 암을 좌우 어느쪽으로도 회전할 수 있다.
- ③ 특수앵커

### (2) 앵커체인

앵커에 가해지는 힘을 수평 방향으로 향하게 하여 앵커의 마찰력을 보충하고 급격한 장력의 변화를 완화한다. 수 개의 새클(shackle)로 구성되며 보통 링크, 확대 링크, 엔드 링크로 구성된다. 27.5m로 된 것을 1련이라고 하며 각련은 연결용 새클(센터 새클, 스위블 새클)로 연결 된다.

### (3) 앵커와 앵커체인의 격납장치

- ① 호즈 파이프(hawse pipe, 묘쇄공) : 외판으로부터 갑판까지 관통되어 있는 체인의 통로가 되며 앵커를 격납한다.
  - ② 체인 멈추개(chain compressor) : 체인의 이동을 순조롭게 하면서 필요에 따라 체인을 적당한 위치에 정지시키기 위해 설치한다.
  - ③ 체인 드럼(chain drum) : 윈들러스에 설치되어 체인을 감아올리는 역할을 한다.
  - ④ 체인 파이프(chain pipe) : 윈들러스가 설치된 갑판에서 한층 아래쪽 갑판하에 설치되는 체인 로커까지 체인을 보내준다.
  - ⑤ 체인로커 : 체인을 격납한다.
- \* 스톡 앵커에는 호즈 파이프를 사용할 수 없으므로 스톡 앵커를 갑판 위로 달아올리기 위해 앵커 대빛(anchor davit)을 설치한다.

#### (4) 윈들러스(windlass, 양묘기)

앵커 체인의 형상과 치수에 맞는 홈이 파인 체인드럼이 달려있고 클러치로 연결되거나 풀려지게 되며 로프류 등이 휘감겨지는 와핑드럼이 함께 갖추어져 있다. 수동식, 기동식, 전동식 및 전기유압식 윈들러스가 있다. 드럼을 회전시켜 체인을 감아올리거나 내린다.

유효동력(EHP) =  $\frac{W \cdot V}{75 \cdot 60}$  (PS) 이며 W는 2개의 앵커와 체인 6련의 중량(kg), V는 감아올리는 속도를 통상 9m/min을 사용한다

#### (5) 그 외 계선용구

- ① 페어리더(fair leader) 및 무어링 파이프(mooring pipe) : 마찰로 인한 선체나 로프 자체의 손상을 방지하면서 로프를 끌어당기는 방향에 변화를 주어 순조롭게 조작되도록 함.
- ② 볼러드(bollard)와 비트(bitt) : 계선용 로프를 동여맨다.
- ③ 무어링윈치(mooring winch)와 캡스틴(capstan) : 계선용 로프를 감아들인다.
- ④ 스탠드 롤러(stand roller) : 로프의 방향을 전환한다.

### 3. 기출문제

#### 2003 조선산업기사

1. 선박의 닻줄을 감아올리는 장치는?

- 가. 페어 리더(fair leader)    나. 윈드라스(windlass)  
다. 볼라드(bollard)    라. 와핑 엔드(warping end)

#### 2003 조선산업기사

2. 하기만재 배수량이 8000ton이고, 형폭이 20m, 선측의 유효높이가 10m, 하기만재흘수선 상부의 투영면적이 1500㎡인 선박의 의장수는?

- 가. 884    나. 760    다. 950    라. 942

해설 :  $8000^{2/3} + 2 \cdot 20 \cdot 10 + 0.1 \cdot 1500 = 950$

### 2003 조선산업기사

3. 스톡리스(stockless) 앵커의 장점이 아닌 것은?

가. 취급이 간단하다.

나. 투묘한 후 스톡에 의한 닳줄이 꼬일 위험이 없다.

다. 대형 앵커의 제작이 용이하다.

라. 플루크에 의한 파지력이 강하다.

해설 : 파지력이 강한 것은 스톡(stock) 앵커이다.

### 2004 조선산업기사

4. 선박을 정박시킬 때 선수로부터 투하하여 선박이 바람과 조류에 의하여 표류하는 것을 방지하기 위한 의장품은?

가. 볼러드 나. 페어 리드 **다. 닳** 라. 비트

### 2004 조선산업기사

5. 앵커 체인(anchor chain)은 수 개의 새클(shackle)이 연결되어 이루어진다. 이 때 한 새클의 구성에 포함되지 않는 것은?

가. 엔드 링크(end link) **나. 스윙블 링크(swivel link)**

다. 확대 링크(enlarged link) 라. 보통 링크(common link)

해설 : 스윙블 링크는 새클을 연결하는 역할을 한다.

### 2004 조선기사

6. 계선 로프(mooring rope)를 본선에 묶어 두기 위해 사용되는 의장품은?

가. 클로즈드 축(closed chock) 나. 갑판 스탠드 롤러(deck stand roller)

다. 페어 리드(fair lead) **라. 볼라드(bollard)**

### 2003 조선기사

7. 페어 리더(fair)의 사용 목적은?

가. 로프를 고정

**나. 선체 및 로프를 보호하며 조작의 원활성을 부여**

다. 와이어 로프를 감아 격납

라. 로프를 연결

### 2003 조선기사

8. 스톡리스 앵커(stockless anchor)의 장점이 아닌 것은?

가. 취급과 격납이 간단하다.

나. 앵커 베드(bed)의 설비가 필요없다.

다. 파지력이 크다.

라. 앵커 암(arm)을 좌우 어느쪽으로도 회전할 수 있다.

### 2009 조선기사

9. 앵커와 앵커체인 3련을 합한 무게가 500kg 이고, 정격속도가 9m/min인 경우, 양묘기의 소요마력은 약 몇 PS인가?

(단, 앵커와 앵커체인은 양현에 각각 설치되어 있다.)

가. 1      나. 2      다. 4      라. 8

$$\text{해설 : } \frac{2 \cdot 500 \cdot 9}{75 \cdot 60} = 2PS$$

### 2009 조선기사

10. 주로 닻을 끌어올리기 위한 장치로 계류 로프(mooring rope)나 체인 케이블(chain cable)도 감아올릴 수 있도록 선수와 선미부에 설치되어 있는 것은?

가. 윈치(Winch)    나. 양묘기(Windlass)    다. 볼러드(bollard)    라. 캡스톤(Capstan)

해설 : 윈치나 캡스톤은 계선용 로프만을 감아들이는데 사용한다.

### 2004 조선기사

11. 2개의 닻과 체인을 합한 무게가 40ton이다. 이것을 9m/min로 감아올리려면 소요 동력은?

가. 60PS    나. 70PS    다. 80PS    라. 90PS

$$\text{해설 : } \frac{40 \cdot 1000 \cdot 9}{75 \cdot 60} = 80PS$$

### 2004 조선기사

12. 선박 계류장치 중 스탠드 롤러(stand roller)의 기능은?

가. 로프의 높이 조정    나. 로프의 방향 전환    다. 로프의 구속    라. 로프의 회전 방지

**2006 조선산업기사**

13. 앵커 체인 1련(shackle)의 통상적인 길이는?

가. 23.5 m 나. 25.5 m 다. 27.5 m 라. 29.5 m

**2006 조선산업기사**

14. 선박의 계선 계류에 사용되는 의장품이 아닌 것은?

가. 무어링 파이프(mooring pipe) 나. 페어 리더(fair leader)  
다. 볼러드(bollard) 라. 데릭 붐(derric boom)

해설 : 데릭 붐은 하역설비이다.

**2003 조선기사**

15. 의장수에 의하여 결정되는 것이 아닌 것은?

가. 앵커의 개수 나. 앵커의 길이 다. 앵커의 중량 라. 앵커 체인의 치수

## Section 032 조타·하역설비

### 1. 조타장치

#### (1) 동력식 조타장치의 4대 구성요소

- ① 조타기(steering engine) : 증기구동, 전동식, 전기유압식, 회전익 등이 있다.
  - 회전익형 : 타두재에 고정익을 갖는 고정자와 회전익을 갖는 로터를 설치하여 유압을 통해 타를 회전시킴.
- ② 제어장치(controlling gear) : 기계식과 유압식 및 전기식 제어장치 등이 있다.
- ③ 전타장치(rudder gear) : 기계식, 트랭크 피스톤식, 랩슨 슬라이드식 등이 있다.
- ④ 추종장치(hunting gear, follow-up gear) : 타를 소요 각도에서 고정시킨다.

#### (2) 타의 종류

- ① 균형타(balanced rudder) : 타면적의 일부분이 타두재보다 앞쪽(선체쪽)에 놓인 것. 타를 회전시켰을 때 발생한 압력의 중심점보다 약간 앞쪽에 타두재가 위치하도록 하여 타두재에 걸리는 비틀림모멘트와 타를 회전시키기 위한 조타기관의 출력을 작게할 수 있다.
- ② 불균형타(unbalanced rudder) : 타의 전면적이 회전축보다 뒤에 있다. 단판타는 대부분이 형태를 띠며 구조가 간단하고 수리가 용이하다.
- ③ 반균형타(semi-balanced rudder) : 상부는 불균형타, 하부는 균형타의 형태를 띤다.

### 2. 하역설비(Cargo gear)

#### (1) 데릭 붐식 하역장치

데릭 포스트 또는 마스트, 데릭 붐, 윈치, 로프, 삭구(로프, 쇠사슬류의 총칭), 활차 및 여러 가지 부속쇠붙이들로 구성되어 있다.

- ① 맞당김식 하역(union purchase system)
- ② 선회식 하역(swing boom system)
- ③ 분동식 하역(counter balance system)

(2) 윈치(Winch) : 구동하는 동력에 따라 기동식, 전동식, 전기유압식으로 나뉜다.

#### (3) 삭구(rigging)

활차(block)에는 목제와 강제활차가 있으며 와이어 로프에는 강제활차, 마(麻)로프인 경우에는 목제활차를 사용한다.

(4) 부속 용구

- ① 거위목형 브래킷 ② 토퍼 브래킷 ③ 클리트(cleat) ④ 붐 받침(boom rest)  
⑤ 화물후크(cargo hook) ⑥ 새클(shackle) ⑦ 심블(thimble) ⑧ 소켓(socket)  
⑨ 아이 플레이트(eye plate) ⑩ 링 플레이트(ring plate) ⑪ 리깅 스크루(rigging screw)  
⑫ 카고 슬링(cargo sling) : 화물을 싸매어 카고 후크에 달아매는 역할을 함.

(5) 크레인식 하역장치

선체 갑판에 크레인을 설치한 것으로 데릭식보다 작업능률이 좋다. 크레인의 장점은 화물이 최대와 최소의 반경 사이에 위치하고 있으면 어느 위치라도 취급할 수 있으며 이 것 때문에 크레인식의 경우 스포팅 능력을 100%로 발휘할 수 있다.

(6) 겐트리 크레인식 하역장치 : 컨테이너, 묶음 목재, 신문 용지 등 큰 유닛 화물 취급.

(7) 컨베이어식 하역장치 : 산적화물을 탑재하거나 양육할 때 사용.

### 3. 기출문제

#### 2003 조선기사

1. 선체의 선회 모멘트가 이론적으로 최대값이 되는 때의 키의 각도는?

- 가. 15°      나. 20°      다. 30°      **라. 35°**

#### 2009 조선기사

2. 다음 중 타두재에 고정익을 갖는 고정자와 회전익을 갖는 로터를 설치하여 유압을 통하여 타를 회전시키는 조타장치는?

- 가. 쿼드런트형(quadrant type)  
**나. 회전익형(Rotary vane type)**  
다. 랩슨 슬라이드형(Rapson slide type)  
라. 트렁크 피스톤형(Trunk piston type)

#### 2004 조선기사

3. 타(rudder)의 전 면적이 회전축의 뒤쪽에 있으며, 단판타는 거의 모두 이 형식이고, 구조가 간단하며, 수리가 용이한 타는?

- 가. 불균형 타**    나. 균형 타    다. 반균형 타    라. 역전 타

### 2006 조선산업기사

4. 다음 중 선박의 하역장비에 속하지 않는 것은?

가. 데릭 나. 카고블록 다. 카고 원치 라. 자이로스코프

### 2006 조선산업기사

5. 하역용구 중 와이어 로프나 섬유 로프의 끝을 보호하고, 다른 용구와의 연결을 하기 위하여 사용하는 것은?

가. 소켓(socket) 나. 덩블(thimble) 다. 아이플레이트 라. 링 플레이트

### 2004 조선산업기사

6. 선박의 하역장치가 아닌 것은?

가. 카고 슬링 나. 원치 다. 윈드라스 라. 데릭 붐

### 2003 조선기사

7. 동력식 조타 장치에서 타가 소요의 각도로 돌아갔을 때 타를 그 위치에서 고정시키는 장치는?

가. 조종장치(controlling gear)  
나. 추종장치(follow-up gear)  
다. 전동장치(transmission gear)  
라. 조타 로드(steering chain)

### 2009 조선기사

8. 다음 하역 방식 중 스포팅(spoting) 능력이 가장 좋은 것은?

가. 스윙식(Swing style)  
나. 맞당감식(Union purchase style)  
다. 분동권식(Counter weight style)  
라. 겐트리 크레인식(Gantry crane style)

### 2009 조선기사

9. 주로 토퍼 리프트를 걸거나 매기 위해서 마스트, 갑판 등에 부착시킨 금속제 제품을 무엇이라 하는가?

가. 볼러드(Bollard) 나. 링플레이트(Ring plate)  
다. 혼클리트(Horn cleat) 라. 아이플레이트(Eye plate)

해설 : 볼러드는 배의 밧줄을 묶는 말뚝(계선주)이다.

## Section 033 통풍·채광설비

### 1. 통풍설비

#### (1) 자연통풍

- ① 동력 없이 공기 흐름을 끌어들이고 빼내 주는 통풍통을 이용한다.
- ② 창고와 소화물 창고 및 그다지 환기를 할 필요가 없는 곳에 사용한다.
- ③ 담뱃대형(고깔형, cowl head), 버섯형(mushroom), 거위목형(gooseneck), 벽붙임형(wall) 등이 있다.

#### (2) 강제통풍

- ① 송풍기(기동 통풍장치)를 이용한다.
- ② 축류형 송풍기
- ③ 원심형 송풍기 : 시코로 송풍기, 터보 송풍기, 리미티드 로드 송풍기
- ④ 토출구 및 흡입구 : 움직날개식 그릴, 팽커 루버, 풍량 조절기
- ⑤ 조리실, 배식실, 욕실, 화장실은 반드시 강제 배기를 한다.
- ⑥ 식당, 휴게실, 거실, 병실, 진찰실, 조타실 등은 반드시 강제 급기를 한다.

### 2. 채광장치

#### (1) 자연채광

- ① 천창(skylight) : 채광 또는 환기를 목적으로 기관실 상부 또는 선체 측면에 설치한 창으로 채광방향이 상부에서만으로 한정되며 기관실 직상의 것은 소형의 안장형이며 통풍과 채광을 겸한다.

#### (2) 인공조명

- ① 전기조명을 사용하며 선급협회의 규칙을 따라야 한다.
- ② 전원은 250V 이하이며 인화점이 65℃ 이하인 기름을 싣는 배는 120V 이하로 한다.
- ③ 주전원 고장에 대비해 비상조명설비로 비상발전기와 축전지를 둔다.

### 3. 기출문제

#### 2003 조선기사

1. 선박 구획 중 송풍기로 강제 배기하여야 하는 곳은?

가. 조리실            나. 일반화물창            다. 선실            라. 기계실

#### 2003 조선기사

2. 기관실과 같이 대량의 환기가 필요한 곳에 사용하는 통풍통은?

가. 버섯형 통풍통(mushroom ventilater)

나. 고깔형 통풍통(cowl head ventilater)

다. 구스넥 통풍통(gooseneck ventilater)

라. 루프형 통풍통(loop type ventilater)

해설 : 고깔형(담뱃대형)은 수직으로 세워진 굴뚝 형태이다.

#### 2004 조선기사

3. 선박용 보조기계가 아닌 것은?

가. 발전기            나. 수차(水車)            다. 펌프(pump)            라. 압축기

#### 2004 조선기사

4. 천창(sky light)에 대하여 틀리게 설명한 것은?

가. 창내(創內)의 통풍 및 환기를 위하여 갑판상에 설치된다.

나. 선박에서 채용되고 있는 자연채광의 하나이다.

다. 채광 방향이 상부에서만으로 한정된다.

라. 기계실 직상의 것은 소형의 안장형이며, 통풍과 채광을 겸한다.

## Section 034 소방설비

### 1. 소방설비

- ① 분말소화기 : 탄산수소나트륨분말을 사용하며 유류, 전기, 화학약품 화재에 사용한다.
- ② 이산화탄소소화기 : 이산화탄소를 사용하며 유류, 전기 화재에 사용한다.
- ③ 할로겐화합물소화기 : 할론 등 할로겐화합물을 사용하며 유류, 전기 화재에 사용한다.
- ④ 포소화기(포말/거품 소화장치) : 화학포/기계포가 있으며 거품이 연소면을 덮어 질식 및 냉각으로 소화한다. 일반 화재에 사용한다.
- ⑤ 물소화기(=사수식(射水式) 소화장치)
- ⑥ 산/알칼리 소화기 : 황산과 탄산수소나트륨을 혼합해 사용하며 일반 화재에 적용한다.
- ⑦ 증기식 소화장치
- ⑧ 기타 소화용 비품

### 2. 기출문제

2009 조선기사

1. 다음 중 전기화재에 사용할 수 없는 소화기는?

가. 포소화기    나. 이산화탄소소화기    다. 분말소화기    라. 할로겐화합물소화기

# Section 035 선체에 작용하는 힘

## 1. 선체에 작용하는 외력

### (1) 중급힘모멘트

일반적으로 최대값은 길이방향의 중앙부에 위치한다.

- ① 호깅(hogging) : 배가 항해할 때 파정(波頂)이 선수의 중앙부에 오고 파저가 배의 선수미부에 위치하게 되면 선수미부에서는 중력이 부력보다 커지고 선체중앙부에서는 부력이 중력보다 크게 되어 배의 중앙부가 위쪽으로 굽어지는 현상을 말한다. 배의 갑판부에 인장응력, 선저 외판에 압축응력이 생긴다.
- ② 새깅(sagging) : 배가 항해할 때 파저가 선체의 중앙부에 오고 파정이 선수미부에 위치하면 중앙부에서는 중력이, 선수미부에서는 부력이 커져서 중앙부가 밑으로 처지는 현상을 말한다. 갑판부에는 압축응력, 선저 외판에는 인장응력이 생긴다.

### (2) 횡단면을 변형시키려는 힘

물속에 잠긴 부분에는 외부 수압이, 갑판 및 화물창에서는 기계나 화물에 의한 분포하중이 작용하여 횡단면을 변형시킨다.

- 래킹(racking) 현상 : 정수 중에 떠 있을 때는 횡단면의 안쪽으로 대칭적인 힘이 작용하며 경사지거나 수면의 높이가 선체의 좌우에서 다르면 비대칭적인 힘이 작용하는데 비대칭적인 변형이 매우 큰 현상을 이라고 한다.

### (3) 비틀림모멘트

배가 선측으로부터 심한 바람을 받아 옆으로 기울어지거나 항해 중 전방 혹은 후방으로부터 파도나 바람을 비스듬히 받아 파 또는 풍압의 작용방향이 선수미부에서 서로 달라지게 되면 길이방향을 축으로 하여 비틀림모멘트가 발생한다. 파의 길이가 배의 길이와 거의 동일하고 배와 파의 진행방향이 45도이며 파정 또는 파저가 배의 중앙부에 위치할 때 최대가 된다.

### (4) 국부적으로 작용하는 힘

부분구조 혹은 구조부재에 국부적으로 작용하는 풍압과 집중력을 말하며 선체강도상 문제가 되는 것으로는 파중을 항해할 때 선수현측 및 선저부에 작용하는 팬팅(panting) 압력 및 슬래밍 압력, 액체화물 탱크 내의 슬로싱(sloshing) 압력 등의 충격하중을 들 수 있다. 이 밖에도 정수압, 선체자중, 화물압력, 풍압, 온도차, 타의 반력 등 많은 요소들이 있다.

- 팬팅(panting) : 대양항해 중 하천을 만나면 선체가 심한 충격을 받으며 심한 롤링, 피칭으로 선수부와 선미부가 파장의 심한 충격을 받는 것을 말한다.
- 슬로싱(sloshing) : 선체의 움직임 때문에 액체가 운동에너지를 받아 탱크 벽에 충격을 주는 현상.

## 2. 선체에 작용하는 힘의 분류

### (1) 정적인 힘

- ① 선체의 중량
- ② 부력
- ③ 엔진, 보일러 및 화물 등과 같이 선내에 집중되는 하중
- ④ 기타 정수압 등

### (2) 동적인 힘

- ① 종동요, 횡동요, 상하동요, 선수동요, 횡경사, 슬래밍, 진동 등 선체 운동
- ② 바람과 파도의 영향

## 3. 기출문제

### 2003 조선기사

1. 선체에 작용하는 하중 중 정적(Static)하중에 속하는 것은?

- 가. 슬로싱(sloshing) 하중
- 나. 입거(drydocking) 하중
- 다. 슬래밍(slamming) 하중
- 라. 강제진동 하중

해설 : 슬로싱, 슬래밍, 진동은 모두 동적하중이다.

### 2003 조선산업기사

2. 선체의 세로진수 시 선미 부양이 막 일어났을 때 선체에 작용하는 힘의 상태는?

- 가. 새깅      나. 호깅      다. 롤링      라. 힐링

### 2004 조선기사

3. 배의 중앙에 중량물을 실었을 때는 다음 중 어느 상태와 동일한가?

- 가. 새깅(sagging) 상태    나. 호깅(hogging) 상태
- 다. 슬로싱(sloshing) 상태    라. 휘핑(whipping) 상태

해설 : 휘핑은 충격적 외력에 의해 야기되는 과도적 선체진동을 말한다.

#### 2004 조선기사

4. 선체에 래킹(racking) 변형이 생기기 쉬운 경우가 아닌 것은?

가. 심한 횡요 운동을 할 경우

나. 피칭 운동으로 과도한 관성력이 발생한 경우

다. 측면에서 오는 파도의 충격으로 동적하중이 발생한 경우

라. 파랑 중 항해시 중심선에 대하여 비대칭 하중을 받는 경우

해설 : 피칭 운동은 횡단면 비대칭 하중과 관계가 없다.

#### 2004 조선산업기사

5. 파랑의 파정이 선체의 선수미부 양단에 위치하여 갑판에는 압축응력이 선저 중앙부 외 판에는 인장응력이 크게 작용하는 상태는?

가. 호킹 상태    나. 새깅 상태    다. 비틀림 상태    라. 래킹 상태

#### 2002 조선산업기사

6. 선박에서 새깅과 호킹 상태의 응력을 담당하는 부재가 아닌 것은?

가. 용골    나. 중심선 거더    다. 늑판    라. 상갑판

해설 : 종강도 부재가 담당하므로 늑판은 아니다. 늑판은 횡강도 부재이다.

#### 2002 조선산업기사

7. 선체가 새깅 상태(sagging condition)에 있을 때 최대 압축응력이 발생하는 부분은?

가. 갑판    나. 선저외판    다. 선측외판    라. 횡격벽판

해설 : 새깅 상태에서는 갑판에 최대 압축응력이, 선저외판에 최대 인장응력이 발생한다.

#### 2002 조선산업기사

8. 선박의 횡요(rolling)시에 갑판은 바닥구조에 대하여 옆으로 움직이려 하고, 한쪽 외판은 반대쪽에 대하여 연직으로 움직이려 하는 횡변형 현상은?

가. 랙킹(racking)    나. 팬팅(panting)    다. 슬래밍(slamming)    라. 해머링(hammering)

#### 2009 조선기사

9. 선체에 작용하는 국부하중 중 충격하중에 해당하는 것은?

가. 화물하중    나. 슬로싱하중    다. 선체자중    라. 건조시의 하중

2006 조선산업기사

10. 새깅(sagging)상태를 가장 옳게 설명한 것은?

가. 파정이 선수미 양끝에 오는 상태

나. 파정이 선체 중앙에 오는 상태

다. 선수에는 파정, 선미에는 파저가 오는 상태

라. 선수에는 파저, 선미에는 파정이 오는 상태

2006 조선산업기사

11. 선체 구조의 기본 조건이 될 수 없는 것은?

가. 침수 방지

나. 외력에 저항할 수 있는 강도 확보

다. 최대의 화물을 적재할 수 있는 공간 확보

라. 공작의 용이성을 고려한 최적의 단순한 구조

2006 조선산업기사

12. 선체의 처짐과 거리가 가장 먼 것은?

가. 굽힘모멘트    나. 비틀림모멘트    다. 전단력    라. 온도차

# Section 036 선체 구조 양식

## 1. 선체 구조 양식

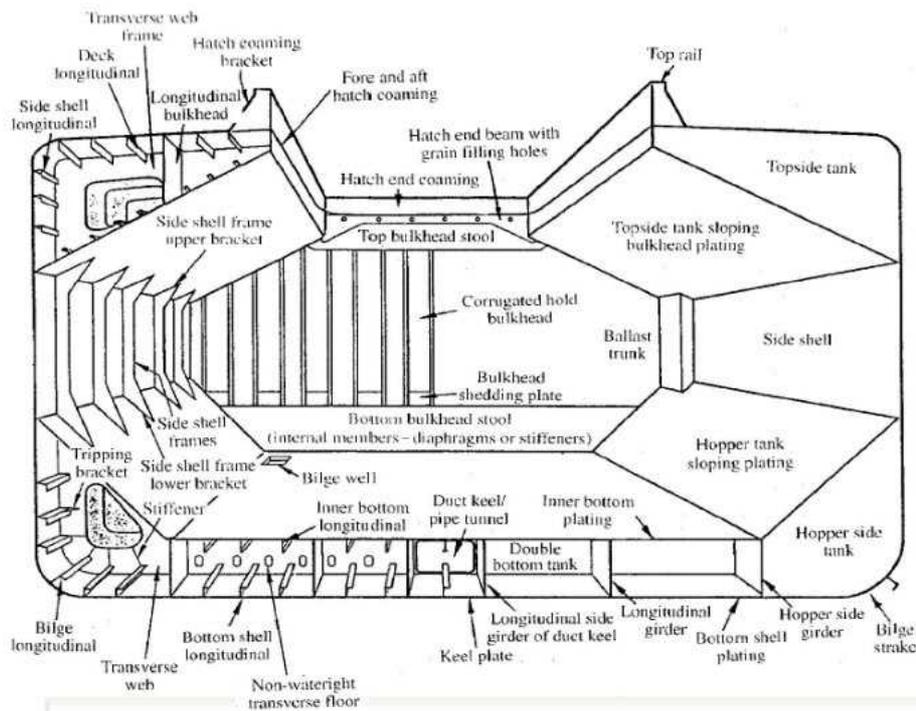
### (1) 종식구조(종늑골식)와 횡식구조(횡늑골식)

- ① 횡식구조 : 횡강도부재를 횡단면 내에 집중적으로 배치하는 구조. 일반화물선, 중소형선박에 사용. 부재 배치상 종강도가 약해 늑골간격을 줄이거나 갑판, 외판 등의 판두께를 두껍게 해야하므로 중량이 무거워진다.
- ② 종식구조 : 종강도부재를 중심으로 배치시킨 구조. 유조선, 선미기관선 등에 사용. 종강도에 강하고 중량이 경감되지만 구조가 복잡하여 건조하기 어렵고 화물탑재가 어려워 유조선, 살물선 등에 쓰인다.
- ③ 종횡혼합식구조 : 위의 두 구조의 장점만을 조합한 구조로서 갑판부와 선저부는 종식구조로 하여 종강도를 확보하면서 선측은 횡식구조로 하여 충분한 횡강도를 확보할 수 있도록 한다.

### (2) 부재

- 늑골(frame) : 선측외판에 붙는 뼈대를 말하며 방향에 따라 종늑골, 횡늑골이라 한다.
- 선창내늑골(hold frame) : 선창 내에 배치된 최하층의 늑골
- 갑판간늑골(tween deck frame) : 선창내늑골과 갑판 사이의 늑골
- 보(beam) : 선박에서 횡으로 배치되는 프레임의 상부를 연결하고 선체의 횡방향의 형상을 유지함과 동시에 여기에 갑판을 깔아 갑판상의 중량을 지지할 수 있도록 한다.
- 거더(girder) : 선박의 종방향을 관통하는 부재로 위치에 따라 구분한다.
- 중심선거더(center girder) : 선저의 중심을 길이방향으로 관통하며 평판keel에 수직으로 부착되어있다. 그 위쪽에 중심내저판이 위치하여 keel과 함께 견고한 구조를 이룬다.
- 사이드거더(side girder) : 중심선 거더의 양측에 평행하게 설치되며 층간에 있어 외판과 내저판의 연결을 강화한다.
- 늑판(floor) : 이중저구조에서 선측의 프레임과 연결되는 횡강도부재이다.
- 내저판(inner bottom plating) : 이중저의 상면을 덮고 있는 판이다. 내저판은 탱크정판으로서 수밀을 가지며 선저의 강도를 증가시켜 좌초시 침수를 방지할 수 있도록 견고하게 제작되어야 한다.

- 격벽(bulkhead) : 선내를 종 또는 횡으로 칸을 막는 구조물을 말한다. 수밀구조에 따라 수밀격벽, 비수밀격벽으로 설치 방향에 따라 횡격벽, 종격벽으로 구분한다.
- 중통재(stringer) : 선측에 수평으로 설치되어 늑골간을 지지하며 선체 종강도와 비틀림 작용에 대응하는 골재
- 특설늑골(Web frame) : 창내 늑골(hold frame)만으로 부족한 횡강도를 보강하기도 하고 횡식 구조 중 특설늑골식에 쓰이기도 한다. 보통늑골보다 치수가 크기 때문에 더 넓은 간격으로 설치하며 그 사이를 중통재(stringer)로 지지한다. 일층갑판선에서 주로 채용한다.
- 현측후판(gunwale, gunnel) : 선측외판의 최상부에 있으며 강력갑판과 연결된다. 종강도 부재 중 하나이다.



## 2. 기출문제

### 2003 조선기사

1. 선체구조 양식은 횡능골식과 종능골식 및 이 2가지를 병용한 혼합 방식이 있는 데, 혼합 방식 구조를 옳게 설명한 것은?

가. 2중저와 갑판은 횡능골식, 현축은 종능골식이다.

나. 2중저와 갑판은 종능골식, 현축은 횡능골식이다.

다. 선수미부는 종능골식, 중앙부는 횡능골식이다.

라. 선수미부는 횡능골식, 중앙부는 종능골식이다.

### 2004 조선기사

2. 종능골 방식의 특징 설명으로 틀린 것은?

가. 선박 중량이 경감된다

나. 선체 종강도가 커진다.

다. 공사가 간단하고, 선창 내 돌출부가 적다.

라. 액체 및 산적화물선에 적합하다.

### 2004 조선산업기사

3. 선체구조양식은 선체구조 부재 중 어떤 부재의 배치 방식에 따라 결정되는가?

가. 필러(pillar)

나. 뼈대(stiffener)

다. 선수재(stem)

라. 용골(keel)

### 2004 조선산업기사

4. 선박 구조형식 중 종식 구조의 장점이 아닌 것은?

가. 종강도가 강하다.

나. 선체의 중량이 가볍다.

다. 재화중량이 증가한다.

라. 특히 선수미부의 구조가 간단하다.

해설 : 종능골식은 구조가 매우 복잡하다.

# Section 037 선저 및 선측구조

## 1. 선저구조

- 단저구조와 이중저구조가 있으며 대부분의 배가 이중저구조를 채택하고 있으며 부분적으로 (선수창, 선미창, 현측탱크 등) 단저구조를 쓰기도 한다.
- 용골(keel) : 선저의 중심선을 따라 선수재로부터 선미골재에 걸쳐 설치되는 것으로 좌골 등에 있어 국부적인 외력이나 마모로부터 선체를 보호한다.
  - ① 평판용골(plate keel) : 공작이 용이하여 강선에서 주로 쓰며 배의 길이가 길어질수록 판폭이나 두께가 커지며 판두께는 주위의 선저외판보다 두껍게 한다.
  - ② 방형용골(bar keel) : 목선에서 주로 채용된다.
- 선저외판 : 국부적으로 작용하는 정수압과 파랑충격력에 견딜 뿐 아니라 종굽힘모멘트의 작용으로 인하여 생기는 인장력이나 압축력에 대항하는 중요한 종강도부재이다. 종굽힘모멘트가 배의 중앙에서 가장 크므로 선저외판도 중앙에서 가장 두껍다.
- 단저구조 : 선저가 탱크로 되어 있지 않은 구조를 말한다.
- 이중저구조 : 선저가 내저판, 늑판(실체, 수밀, 조립), 중심선거더, 종늑골 또는 측면 거더에 의하여 탱크로 되어있는 구조를 2중저구조라고 한다. 선저를 보호하고 좌초 등의 손상으로 인해 선창 내로 해수가 침입하는 것을 방지하며 밸러스트수, 연료유, 청수의 탑재에도 이용된다. 종강도를 향상시킨다.
- 밸러스트 탱크 : 탱크에 해수를 채워 흘수를 확보하여 배의 균형을 맞추고 복원력을 크게 한다.
- 톱사이드 탱크 : 산적화물선에서 운항 중에 표면의 침하나 이동에 대하여 충분한 안정성을 확보할 수 있도록 화물창의 전 길이에 걸쳐서 설치된다. 밸러스트 탱크로 사용되기도 하고 가벼운 곡물 또는 액체 화물의 탱크로도 이용된다.
- 사이드 호퍼(side hopper) : 대형 산적화물선의 이중저구조는 격벽이 없다. 따라서 이중저 강도를 높이기 위해 사이드 호퍼를 설치하여 이중저의 평면부를 제한하고 이중저의 선측부에 대한 고착도를 증대시킨다. 또한 이 것은 그랩(grab) 하역의 경우 화물의 셸프 트리밍을 이용해 능률을 향상시킨다. 비틀림 강성도 강하게 해준다.
- 슬롭 탱크(slop tank) : 화물유 탱크를 청소할 때 생기는 기름 섞인 물을 모아두는 탱크
- 코퍼댐(cofferdam, 방유구획실) : 이중저 내, 연료 탱크, 청수탱크, 기관실, 윤활유 탱크 등의 사이에 설치되며 두 겹의 격벽으로 되어 있으며 가운데가 비어 있다. 사고 또는 선박의 노화로 인해 천공 등이 발생했을 경우 누수된 기름 등이 선창으로 흘러들어가지 않도록 막는 역할을 한다.

- 디프 탱크(deep tank) : 대형선에서는 이중저 탱크 및 톱사이드 탱크만으로는 충분한 밸러스트량을 확보할 수 없어 중앙 부근의 화물창에 밸러스트탱크를 추가로 만든 것.

## 2. 선측구조

선측외판과 늑골로 구성되며 선저구조 및 갑판구조와 함께 중요한 종강도부재이다. 선저의 단저구조와 같이 일중구조로 되어있으며 종식과 횡식이 있다. 횡식에는 늑골의 배치방법에 따라 보통늑골식과 특설늑골식이 있으며 보통늑골식은 동일한 크기의 늑골을 동일 간격으로 배치하며 특설늑골식은 보통늑골보다 치수가 큰 특설늑골(web frame)을 보통늑골식에서보다 넓은 간격으로 설치하고 그 사이를 종통재(stringer)로 지지한다. 일층갑판선에서는 횡식구조, 특히 특설늑골식을 주로 채용하며 유조선 등에서는 강도적으로 유리한 종식구조를 채용한다.

- 현측후판 : 선측외판의 최상부에 위치하며 강력갑판(강갑판)과 연결된다.

## 3. 기출문제

2003 조선산업기사, 2009 조선기사

1. 다음 중 선측외판의 최상부로서 강력갑판과 연결되는 부재는?

가. 현측후판    나. 갑판보(Beam)    다. 양상측판    라. 불워크(Bulwark)

2004 조선산업기사

2. 다음 건현의 약어 중 동기 북대서양 건현의 약어는?

가. S            나. W            다. WNA            라. LWNA

해설(S : 하기, W : 동기, T : 열대, L : 목재, N : 북대서양, F : 담수로 조합)

- ① LWNA : 동기 북대서양 목재 만재흘수선
- ② S : 하기 만재흘수선
- ③ W : 동기 만재흘수선
- ④ T : 열대 만재흘수선
- ⑤ LT : 열대 목재 만재흘수선
- ⑥ LS : 하기 목재 만재흘수선
- ⑦ LW : 동기 목재 만재흘수선
- ⑧ LTF : 열대 담수 목재 만재흘수선
- ⑨ TF : 열대 담수 만재흘수선
- ⑩ LF : 하기 담수 목재 만재흘수선

#### 2004 조선산업기사

3. 산적화물선에서 화물이 한쪽으로 쏠리는 현상을 없애기 위하여 만든 탱크는?

가. 톱 사이드 탱크 나. 발라스트 탱크 다. 연료유 탱크 라. 청수 탱크

#### 2003 조선기사

4. 선체 이중저 구조(double bottom)를 구성하는 부재가 아닌 것은?

가. 특설 늑골(web frame) 나. 중심선 거더(center girder)  
다. 내저판(inner bottom plate) 라. 실체 늑판(solid floor)

#### 2004 조선기사

5. 산적화물선의 화물창에 설치되는 호퍼(hopper)의 역할이 아닌 것은?

가. 짐을 미끄러지게 하여 하역능률 향상  
나. 화물 보호 기능  
다. 이중저 구조지지  
라. 비틀림 강성 향상

#### 2004 조선기사

6. 화물유 탱크를 청소할 때 생기는 기름 섞인 물을 모아두는 탱크는?

가. 피크 탱크(peak tank)  
나. 스피ل 탱크(spill tank)  
다. 피크링 탱크(pickling tank)  
라. 슬롭 탱크(slop tank)

#### 2002 조선산업기사

7. 살물 운반선(bulk carrier)에서 갑판하의 선측 탱크(side tank)를 경사지게 설치하는 가장 큰 이유는?

가. 화물의 이동 시간을 적게하여 복원성을 높이기 위함이다.  
나. 종강도를 크게 하여 굽힘모멘트에 대처하기 위함이다.  
다. 발라스트용으로 사용할 때 중심을 좀 더 낮추기 위함이다.  
라. 화물의 하역을 용이하게 하기 위함이다.

### 2004 조선산업기사

8. 선체 이중저(double bottom)에 대한 설명으로 틀린 것은?

가. 선저파손 시 상부로의 해수 침입을 막을 수 있다.

나. 선체 종강도가 증가한다.

다. 청수탱크, 연료유 탱크 등으로 사용할 수 있다.

라. 구조가 간단하여 소형선에만 주로 적용된다.

### 2004 조선산업기사

9. 선체 이중저 내에 코퍼댐(cofferdam)을 설치하는 목적은?

가. 추진축이 지나가는 통로를 확보하고 축을 보호하기 위하여

나. 연료유 탱크와 윤활유 탱크 사이 및 이들과 청수 탱크의 각 성분이 서로 혼합되는 것을 방지하기 위하여

다. 화물의 적재량을 증가시키고, 선박의 부심을 낮추어 복원력을 증대시키기 위하여

라. 선저부의 곡부강도를 증대시키고, 선저 파손 시 해수의 침입을 방지하기 위하여

### 2004 조선산업기사

10. 평판용골(plate keel)의 판 두께는 주위의 선저 외판 두께와 비교하여 어떻게 설정하는가?

가. 같은 두께로 설정한다.

나. 더 얇게 설정한다.

다. 더 두껍게 설정한다.

라. 선수미부에서는 더 두껍게 하고, 중앙부는 같은 두께로 한다.

### 2003 조선산업기사

11. 선박 계류 시 다른 물체와의 충돌로부터 선측외판을 보호하기 위하여 설치되는 부재는?

가. 방현재

나. 만곡부 용골

다. 실체늑판

라. 특설늑골

해설 : 방현재는 선수에 장착한 완충물로서 선박을 부두에 묶어둘 때 또는 다른 배의 옆에 델 경우에, 접촉에 의한 충격을 완화시켜 서로의 손상을 방지하기 위해 사용한다

**2003 조선산업기사**

12. 선저 외판의 두께를 결정하는 데 그다지 영향을 주지 않는 것은?

가. 선박의 길이    나. 선박의 폭    다. 늑골 간격    라. 만재흘수

해설 : 선박의 길이, 늑골간격, 만재흘수 등은 모두 강도에 영향을 줄 수 있는 항목들이다. 선박의 폭이 종강도 또는 횡강도에 미치는 영향은 미미하다.

**2002 조선산업기사**

13. 연료유 탱크와 윤활유 탱크 사이 및 이들과 청수탱크 사이에 설치하는 것은?

가. 디프 탱크    나. 라이더 판    다. 대판    라. 코퍼댐

**2006 조선산업기사**

14. 청수탱크와 연료유 탱크의 경계에 청수와 연료가 서로 섞이지 않도록 설치하는 것은?

가. 코퍼댐    나. 빌지 웰    다. 실체늑판    라. 내저판

**2006 조선산업기사**

15. 다음 중 이중저를 보강하지 않아도 되는 곳은?

가. 주기대 하부 이중저  
나. 밸러스트 탱크로 사용하는 이중저 내부  
다. 특설 필러(pillar)의 하부 이중저  
라. 선수, 선저 편평부의 이중저 내부

**2006 조선산업기사**

16. 내저판이 설치되어 있는 구조는?

가. 횡식구조    나. 종식구조    다. 이중저구조    라. 혼합식구조

**2006 조선산업기사**

17. 선측에 설치하는 선창늑골의 설계시 고려하여야 할 중요한 사항이 아닌 것은?

가. 골재 치수에 적합한 단부 브래킷 선정  
나. 갑판간 늑골의 접합시 연속성 유지  
다. 선측 외부로부터의 해수 하중  
라. 화물에 의한 하중

# Section 038 갑판 및 상부구조

## 1. 갑판구조

최상층의 전통갑판을 상갑판이라 하고, 아래쪽으로 순서대로 제2갑판, 제3갑판 등으로 부른다. 상갑판 하부의 갑판부를 갑판구조라 하며 갑판, 보, 갑판거더 등으로 구성되어 있다. 상갑판은 중요한 종강도 부재로서 물이 고이지 않고 배수가 잘 되도록 길이방향으로 시어(sheer), 폭방향으로 캠버(camber)를 설치한다.

- 시어(현호, sheer) : 선체를 측면에서 보면 선축선이 곡선을 이루며 이것을 현호라 한다.
- 캠버(camber) : 선체를 정면에서 보면 폭방향으로 갑판이 원호를 이루는데 이 양단을 연결하는 선과 원호상의 최고점 사이의 간격을 말한다.
- 강갑판(deck plating) : 상갑판의 강갑판은 중요한 종강도부재로서 파의 유입으로 인한 수압에 견딜 수 있어야하며 중앙부에서는 중굽힘모멘트의 작용으로 인해 최대 굽힘응력이 발생하므로 중앙부갑판의 두께가 최대이고 선수미로 갈수록 얇아진다. 선축부의 현축후판과 접하는 부분의 갑판을 갑판중통재(deck stringer)라고 한다.
- 해치(hatch, 창구) : 선창 내부에 화물을 적재하기 위한 입구. 운항 중에는 해치 커버로 덮어두며 상갑판의 해치는 파의 유입을 막기 위해 610mm 이상의 높이를 가지는 코밍을 설치한다. 제 2갑판 이하에서는 각 해치에 코밍을 설치할 필요는 없으며 그 위에 화물을 탑재하기 위해 하부에 해치 보를 설치하여 지지한다. 최근에는 기계적으로 할 수 있도록 강제수밀 해치 커버가 사용된다.
- 해치 커버(hatch cover) : 해치의 입구를 덮어두는 덮개이다.
  - ① Side rolling type : 해치가 좌우로 벌어지면서 열리는 타입.
  - ② Folding type : 폴더처럼 접히는 타입. (관절이 2개)
  - ③ Multi-Folding type : 접히는 부분이 여러 개인 타입. (관절이 3개 이상)
  - ④ Law-stawing folding type : 접히는 부분이 끝단이 아니라 중간 부분인 타입. 줄로 끌어당겨 한쪽으로 모두 모을 수 있다. (③과 유사하지만 갑판에 걸치는 곳이 중앙)
  - ⑤ Lift-away type : 오직 수직방향으로만 들어 올리는 타입.
  - ⑥ Piggy-back type : 수직방향으로 들어 올려 목마 태우듯이 중첩할 수 있는 타입. 바깥쪽의 해치커버가 들어 올려지면 안 쪽의 것이 그 아래로 굴러 들어간다.
  - ⑦ Single-Flag type : 관절이 하나로 한쪽을 고정해 채 위로 여는 타입.
- 해치 코밍(창구 연재, hatch coaming) : 해치 내로 파가 유입되지 않도록 설치하는 것. 또한 해치 주위를 보강하여 국부강도를 증가시켜준다.
- 상갑판 : 배의 이물에서 고물까지 통하는 갑판 가운데 가장 위층에 있는 갑판.

- 건현갑판 : 배가 짐을 가장 많이 실을 수 있는 한계를 규정하는 데 기초로 삼는 갑판. 보통 상갑판을 이른다.
- 격벽갑판 : 수밀 구획의 위쪽을 덮은 배의 갑판. 수밀 구조로 되어 있어 배가 충돌하거나 좌초하였을 때에, 침수나 화재 따위의 피해를 최소한으로 줄이는 작용을 한다.

## 2. 상부구조

- 선루(erection or superstructure) : 상갑판 위에 폭방향으로 만들어놓은 구조물로서 선수, 중앙, 선미에 설치하며 선수에 설치하는 것은 파도를 이겨내는 능력을 가지는 것으로 모든 선박에 설치한다. 중앙부에서 길이가 긴 선루는 종강도에도 기여하므로 종강도 계산 시 포함시키며 배의 예비 정력을 분담할 수 있으므로 건현 계산 시에도 포함한다.
- 갑판실(deck house) : 선루와 달리 폭이 선측외판에 도달하지 않고 종강도에 기여하지 않으므로 보통 경구조로 한다.
- Bulwark : 갑판상으로 파랑이 몰아쳐오는 것을 막고, Hatch 등의 갑판구를 보호하고, 또 갑판 상의 통행 안전을 위해 상갑판과 선루갑판의 외부에 노출된 부분의 선측의 외판 연장부에 Steel Plate의 난간을 만든 구조를 말한다.

## 3. 기출문제

### 2003 조선기사

1. 선루(superstructure)란 상갑판 상부의 구조물로서 상부를 덮는 갑판이 선박 폭의 어디까지 다다른 것인가?

- 가. 양현의 선측 외판까지 연장되어 있는 것
- 나. 선폭의 85% 이상에 걸친 것
- 다. 선폭의 70% 이상에 걸친 것
- 라. 선폭의 50% 이상에 걸친 것

### 2003 조선기사

2. 화물창을 횡 방향으로 분리하여 더블 해치(double hatch)로 하면 싱글 해치와 비교하여 어떤 점이 유리한가?

- 가. 보다 많은 화물을 실을 수 있다.
- 나. 보다 무거운 화물을 실을 수 있다.
- 다. 선체 강도상 유리하다.
- 라. 하역속도가 증가한다.

2002 조선산업기사

3. 다음 갑판 중 기능상 그 성질이 다른 것은?

- 가. 견현갑판      나. 상갑판      다. 격벽갑판      라. 대갑판

2004 조선산업기사

4. 화물선에서 화물의 적재나 하역을 위하여 설치하는 갑판 개구(開口)는?

- 가. 해치(hatch)    나. 코밍(coaming)    다. 캠버(camber)    라. 갑판 거더(deck girder)

2004 조선산업기사

5. 선박 갑판 창구 모서리에 연재(coaming)를 설치하는 가장 큰 이유는?

- 가. 공작을 쉽게 하기 위하여
- 나. 화물창의 통풍을 위하여
- 다. 갑판을 보강하여 국부강도를 증가시키기 위하여
- 라. 선원의 안전을 위하여

2004 조선산업기사

6. 갑판상에 불워크(bulwark)를 설치하는 목적과 가장 무관한 것은?

- 가. 폭로된 상갑판으로의 파도의 침범을 막는다.
- 나. 갑판 위의 통행을 안전하게 한다.
- 다. 창구 등의 갑판구를 보호한다.
- 라. 화물창내의 화물을 보호한다.

2009 조선기사

7. 개폐(開閉)장치에 따라 분류한 강재 해치커버(steel hatch cover) 중 바깥쪽의 해치커버가 들어 올려지면 안쪽의 해치커버가 그 아래로 굴러 들어가서 겹치는 방식은?

- 가. 폰툰형(Pontoon type)
- 나. 미끄럼형(Sliding type)
- 다. 피기백형(Piggy back type)
- 라. 엔드 롤링형(End rolling type)

2002 조선산업기사

8. 갑판의 설계시 고려하는 상갑판 위의 최대하중은?

- 가. 0.720ton/m<sup>2</sup>      나. 1.100ton/m<sup>2</sup>      다. 1.530ton/m<sup>2</sup>      라. 1.568ton/m<sup>2</sup>

2006 조선산업기사

9. 갑판 개구(開口)에 대한 보강 방법으로 적합치 못한 것은?

가. 겹판(doubling plate)을 붙인다.

나. 격벽을 설치한다.

다. 코밍을 붙이거나 특설 보로 보강한다.

라. 개구 주변의 판 두께를 증가시킨다.

2006 조선산업기사

10. 선루(Superstructure)라 함은 갑판상 구조물로서 다음의 어떤 조건을 충족시켜야 하는가?

가. 선폭(船幅) 전체에 걸친 것

나. 선폭의 3/4 이상에 걸친 것

다. 선폭의 1/2 이상에 걸친 것

라. 길이가 선체 길이의 1/2 이상인 것

# Section 039 선수 및 선미구조

## 1. 선수구조

- 팬팅구조 : 항상 파의 충격력을 받으며 선박이나 표류물과 충돌할 기회도 많기 때문에 이들 하중에 견디기 위해 선수선저부에 보강하는 구조를 말한다.
- 선수재(stem) : 가장 앞 부분의 좌우현외판이 만나는 부분을 구성하는 부재를 말한다. 보통 강판을 사용해 동글게 굽혀 만들며 흘수선하에서는 후판을 사용하여 상부로 갈수록 얇아지며 최상부에서는 갑판두께와 비슷한 정도로 한다. 갑판과 갑판의 중앙에는 적당한 간격으로 브레스트 혹은 설치해 보강한다.
- 선수부외판 : 선수선저부는 슬래밍, 선수선측부는 팬팅 및 표류물과의 충돌하중을 받으므로 충분히 두껍게 한다. (팬팅 : 파랑 충격현상)
- 선수창( fore peak tank, 선수탱크) : 선수격벽을 경계로 선창과 구획지어지며 일종의 탱크 구조를 형성하게 되는데 트림 조절을 위한 밸러스트 탱크로 사용되며 제수격벽을 설치해 밸러스트수의 자유표면의 효과를 감소시키고 횡능골방식을 주로 사용한다. 또한 내부 밸러스트수의 동요를 방지하기 위해 제수판(wash plate)을 설치한다. 보통 선수창 뒷부분은 일반화물선은 제1선창이 배치되지만 유조선이나 광석운반선은 디프 탱크가 배치된다.
- 선수주판(breast hook) : 파랑 등에 의한 선수의 충격을 선수단에서 보호하기 위해 선수재 및 그 인접 외판을 보강하기 위한 수평 Bracket Plate를 말한다.

## 2. 선미구조

프로펠러와 타가 설치되어 진동이 일어나기 쉽고 추진 또는 선회 시 수압의 변화가 크며 충돌기회가 많으므로 선수구조와 같이 견고하게 해야 하며 선미골재, 선미부외판, 선미창으로 구성된다.

- 선미골재(stern frame) : 배의 최후단의 좌우현외판이 만나는 부분을 구성하는 부재를 말한다.
- 선미부외판 : 종강도 측면에서 중앙부의 외판보다 얇게 하는게 보통이지만 파의 충격력이나 기진력이 작으므로 이들 힘에 충분히 견딜 수 있게 해야 한다.
- 선미창 : 선미격벽으로부터 선미골재에 이르는 구획을 말하며 선수창과 마찬가지로 주로 횡능골 방식을 채용한다.
- 트랜섬 : 선미의 가장 끝에 붙여지는 횡방향 골재로 트랜섬보, 트랜섬능골, 트랜섬능판으로 구성된다.

### 3. 기출문제

#### 2009 조선기사

1. 다음 중 선미부에 위치하는 선체 부재는?

가. 패션판(Fashion plate) 나. 브레스트훅(Breast hook)

다. 트랜섬 녹판(Transom floor) 라. 플레이트 스템(Plate stem)

해설 : 브레스트훅과 플레이트 스템은 모두 선수부에 위치한다.

#### 2004 조선산업기사

2. 선박의 선수부에 위치하는 구조물이 아닌 것은?

가. 체인 로커(chain locker)

나. 벨 마우스(bell mouth)

다. 축 지주(shaft strut)

라. 호저 파이프(hawser pipe)

#### 2002 조선산업기사

3. 선체 선수선저부의 보강구조는?

가. 팬팅구조 나. 덕트 킬 다. 혼합식 구조 라. 이중저 구조

#### 2004 조선기사

4. 자동차 운반선(roll on/roll off carrier)의 선미쪽에 설치되는 차량의 주통로는?

가. 사이드 램프(side ramp)

나. 스템 램프(stern ramp)

다. 고정 램프(fixed ramp)

라. 바우 바이저(bow visor)

# Section 040 종강도

## 1. 종강도

중급힘모멘트에 대항하는 강도이며 가장 기본이 되는 강도이다. 배를 1개의 보(beam)로 가정하고 중급힘모멘트를 계산한 뒤 보 이론을 적용하여 평가한다. 따라서 배에 작용하는 중급힘모멘트를 먼저 계산해야하며 이는 중량분포와 부력분포의 차이에서 기인하기 때문에 배의 중량분포와 부력분포를 알아야한다.

하지만 그 분포는 화물의 종류, 적재 방법, 속력, 항로의 해상 상태 등 변화 요인이 너무 많아 설계 시 모두 고려하기가 힘들다. 따라서 예상되는 가장 심한 하중상태를 예상하여 경험적으로 설정하며 그 것을 표준상태라고 하고 이것을 기준으로 종강도를 평가한다.

### (1) 표준상태에서의 표준파

- 파장 : 배의 길이

- 파고 :  $\frac{L}{20}$  또는  $1.1\sqrt{L}$  또는 다른 기준.

- 파형 : 정현파(=사인파) (과거에는 트로코이드파를 사용하였으나 최근에는 주로 정현파

- 종강도는 편의상 표준호킹상태와 표준새킹상태만을 분석한다.

① 표준호킹상태 : 파정이 배의 중앙부에 오고 선창에는 균질화물을 적재하되 밸러스트수, 소비중량(연료, 음료수, 식료품) 등은 배의 선수미부(L/4)에만 적재한 최악의 상태

② 표준새킹상태 : 파저가 배의 중앙부에 오고 선창에는 균질화물을 적재하되 밸러스트수, 소비중량(연료, 음료수, 식료품) 등은 배의 중앙부에만 적재한 최악의 상태

### (2) 선체와 관련된 곡선

① 중량곡선 : 선체 각 부분에 작용하는 중력을 나타낸 곡선

② 부력곡선 : 선체 각 부분에 작용하는 부력을 나타낸 곡선

③ 하중곡선 : 각 부분에서의 중력과 부력의 차이를 나타낸 곡선

④ 전단력곡선 : 중력과 부력의 불균형으로 인해 선체에 작용하는 전단력 분포를 나타낸 곡선

⑤ 굽힘모멘트곡선 : 선체에 발생하는 굽힘모멘트를 나타내는 곡선

⑥ 본전곡선(Bonjean's curve) : 각 스테이션에 흘수별 횡단면적을 나타낸 곡선

- 트림상태의 선체에 대한 배수량과 부심의 종위치를 구하는데 이용된다.

### (3) 최대 전단력

$$F_{\max} = \frac{W}{C}, \quad W : \text{만재배수량(ton)}, \quad C : \text{계수로서 } 7\sim 12 \text{ (보통 } 9 \text{ 정도)}$$

(4) 최대 종굽힘모멘트

$$M_{\max} = \frac{WL}{C} \quad [\text{ton}\cdot\text{m}]$$

$W$  : 만재배수량(ton),  $C$  : 계수로서 28~35 (보통 30정도),  $L$  : 배의 길이(m)

(5) 전단응력

$$\tau = \frac{F(x) \cdot m}{I \cdot b}$$

- ①  $F(x)$  : 전단력, ②  $I$  : 횡단면의 중립축에 관한 단면 2차 모멘트
- ③  $m$  : 전단응력을 계산하고자 하는 점보다 상부에 있는 모든 종강도부재 단면의 중립축에 관한 1차 모멘트
- ④  $b$  : 전단응력을 계산하고자 하는 점에서의 선축외판 및 종통격벽판 두께의 합

(6) 최대 전단응력

$$\tau_{\max} = \frac{C F_{\max}}{2Dt}$$

- ①  $D$  : 배의 형깊이 ②  $t$  : 선축외판의 두께 ③  $C$  : 계수로서 1.2~1.4 정도

(7) 굽힘응력

$$\sigma_b = \frac{M(x)y}{I} = \frac{M(x)}{Z}$$

- ①  $M(x)$  : 각 부분에서의 종굽힘모멘트
- ②  $y$  : 횡단면의 중립축으로부터 굽힘응력을 계산하고자 하는 점까지의 수직거리
- ③  $Z$  : 단면계수

굽힘응력을 계산하고자 하는 단면위치가 결정되면  $M(x)$ 와  $I$ 는 일정하므로 응력은  $y$ 에만 비례하게 된다. 따라서 최대굽힘응력은 최대굽힘모멘트가 발생하는 중앙부의 횡단면에서 중립축으로부터 강력갑판 또는 선저용골까지의 거리 중에서 큰 쪽의  $y$ 를 채택해 계산한다.

일반적으로 선저부가 갑판부보다 견고한 구조로 되어있기 때문에 횡단면의 중립축은 선저용골로부터 0.4D 정도의 위치에 존재하며, 중립축으로부터 선저용골까지의 수직거리보다 강력갑판까지의 거리가 크기 때문에 최대 굽힘응력은 강력갑판부에 발생하는 것이 보통이다.

(8) 허용응력

극한강도를 안전율로 나눈 것. 보통 안전율은 2~4를 채택한다.

## (9) 단면계수

일반 선박에서는 주요 치수가 정해지면 최대종굽힘모멘트의 크기가 근사적으로 추정되므로 최대굽힘응력은 단면계수의 크기에 따라 결정된다. 따라서 종강도를 기준으로한 구조설계에 있어서는 허용응력을 사용하는 대신에 적절한 단면계수의 기준값을 사전에 설정하여 두고, 설계하고자 하는 배의 단면계수가 그 기준값 이상이 되도록 부재치수를 정한다.

## (10) 종강도부재

- ① 정의 : 배의 중앙부  $L/2$  이상에 걸쳐 종통하는 부재 또는 이와 동등한 기여를 할 수 있는 종통부재
- ② 갑판부 : 강갑판, 갑판종통재(deck stringer), 종통형재(stringer angle), L형재(gunwale angle), 종보(longitudinal beam)
- ③ 외판부 : 현측후판(sheer strake), 선측외판, 발지외판, 선저외판 등
- ④ 2중저구조 : 중심선내저판, 내저판, 마진판, 중심축거더, 종늑골, 각종 앵글 등
- ⑤ 단저구조 : 중심선내용골, 측내용골, 종늑골, 각종 앵글 등
- ⑥ 기타 : 종격벽, 선측종통재(side stringer), 방형용골 등

## 2. 기출문제

### 2003 조선기사, 2009 조선기사

1. 선체 길이 방향의 각각의 위치에 있어서의 중력과 부력의 차를 나타내는 곡선은?

가. 중량곡선   나. 부력곡선   **다. 하중곡선**   라. 전단력곡선

### 2009 조선기사

2. 다음 중 본전곡선(Bonjean's curve)에 대한 설명으로 틀린 것은?

**가. 선체의 초기 횡복원력을 구하는데 직접적으로 이용된다.**

나. 각 스테이션에 흘수별 횡단면적을 나타낸 곡선이다.

다. 트림상태의 선체에 대한 배수량을 구하는데 이용된다.

라. 트림상태의 선체에 대한 부심의 중위치를 구하는데 이용된다.

### 2004 조선산업기사

3. 선박의 길이 방향으로 선체중량 분포상태를 곡선으로 나타낸 것은?

**가. 중량곡선**   나. 부력곡선   다. 하중곡선   라. 전단력 곡선

### 2004 조선산업기사

4. 선박의 종강도 계산을 위한 표준파의 조건에서 파고와 파장의 비는?

가. 1/10      나. 1/20      다. 1/30      라. 1/40

### 2009 조선기사

5. 부력곡선 작성시 고려하는 가정으로 틀린 것은?

(단, L은 선체의 길이이다.)

가. 파장은 배의 길이와 같다.

나. 파형은 사인파나 트로코이드(Trochoid)파이다.

다. 파고는  $1.1\sqrt{L}$ ,  $L/20$  또는 다른 기준의 표준파와 같다.

라. 배의 전·후방은 파의 진행방향에 수직으로 놓인다.

해설 : 표준호강 및 표준 새김상태에서 종강도해석을 하므로 평행하게 놓인다.

### 2003 조선산업기사

6. 선박 종강도 계산에 있어서 하중곡선(load curve)은?

가. 선박 중량의 길이방향의 분포상태를 곡선으로 나타낸 것

나. 선박 부력의 길이방향의 분포상태를 곡선으로 나타낸 것

다. 선체 길이 방향의 각각의 위치에서 중력과 부력의 차를 곡선으로 나타낸 것

라. 선체 길이 방향의 각각의 위치에서 전단력의 분포상태를 곡선으로 나타낸 것

### 2003 조선산업기사

7. 선축 스트링거를 옳게 설명한 것은?

가. 선수미 늑골을 보강하는 횡강도 부재이다.

나. 선축에 붙이는 종통재로서 늑골 상호의 위치를 확보하고 외판의 요철을 방지한다.

다. 해치 빔(beam) 위에만 설치한다.

라. 특설 늑골 사이에만 설치한다.

### 2003 조선산업기사

8. 만재배수량이 3000 ton, 길이가 100m, 깊이가 10m, 상수 C가 30인 선박의 최대 세로 굽힘모멘트의 근사값은?

가. 1000 ton·m      나. 10000 ton·m      다. 3000 ton·m      라. 30000 ton·m

해설 :  $M_{max} = \frac{WL}{C} = 10000 \text{ ton}\cdot\text{m}$

### 2003 조선산업기사

9. 선체의 종강도에 관한 설명 중 틀린 항은?

- 가. 선박의 폭(breath)이 넓으면 종강도에 유리하다.
- 나. 선박의 깊이(depth)가 깊으면 종강도에 유리하다.
- 다. 선박의 흘수(draft)가 얕으면 종강도에 유리하다.
- 라. 선박의 길이가 길면 종강도에 유리하다.

### 2003 조선산업기사

10. 다음 중 선체 종강력 부재가 아닌 것은?

- 가. 중심선 내저판    나. 마진판    **다. 늑판**    라. 만곡부 외판

해설 : 늑판은 횡강도 부재이다.

### 2003 조선산업기사

11. 선체 구조부재 명칭과 기능에 관한 설명 중 잘못된 것은?

- 가. 이중저 늑판의 중심선을 관통하는 반을 중심선 거더(center girder)라 한다.
- 나. 선체의 현측에 해수침입을 막기 위해 불워크가 설치된다.
- 다. 선체의 현측 상부 부재인 거널(gunwale)은 종강도 계산시 포함되지 않는다.**
- 라. 필러(pillar)는 갑판보를 지지하여 갑판이 아래로 처지는 것을 방지한다.

해설 : 거널은 갑판부 종강도부재의 한 종류이다.

### 2003 조선산업기사

12. 선박의 어떤 단면에서의 굽힘모멘트가  $3kN \cdot m$ 이고, 단면계수가  $100cm^3$ 이면 이 단면에서의 굽힘응력은?

- 가.  $30N/cm^2$                       나.  $300N/cm^2$                       **다.  $3kN/cm^2$**                       라.  $30kN/cm^2$

해설 :  $3kN \cdot 100cm / 100cm^3 = 3kN/cm^2$

### 2009 조선기사

13. 선체 종강도 계산에서 표준 호깅(hogging)상태에 대한 설명으로 틀린 것은?  
(단, L은 선체길이이다.)

- 가. 표준파의 파정이 선체 중앙부에 있다.
- 나. 화물은 균질화물로 선창에 만재돼있다.
- 다. 선체 중앙부의 밸러스트 탱크가 만재해 있다.**
- 라. 소비중량은 선체 전·후부 L/4 사이에 만재해 있다.

### 2009 조선기사

14. 다음 중 선박이 종경사할 때 최대굽힘응력 또는 최대 압축응력을 받는 부위가 아닌 것은?

가. Bilge부

나. Side shell plate

다. Gunwale(또는 Gunnel)부

라. Stringer plate 및 Sheer strake

해설 : 종경사 = 트림이다.

### 2004 조선기사

15. 길이 100m인 선박의 부력이 전구간에 걸쳐 100 ton/m로 균일 분포하고, 중량은 선체 중앙부 50m 구간에 걸쳐서만 균일하게 분포한다고 가정할 때 이 배의 최대굽힘모멘트는?

가. 2500 ton·m

나. 25000 ton·m

다. 62500 ton·m

라. 125000 ton·m

해설 : 선체를 균일분포하중이 작용하는 단순보로 가정하고 푼다. 부력에 의한 최대모멘트

는  $M_{max} = \frac{wL^2}{8}$ 에서  $w = 100N/m, L = 100m$ 를 대입해 125000 ton·m, 중력에 의한 최대

모멘트는  $M_{max} = \frac{wL^2}{8}$ 에서  $w = 200N/m, L = 50m$ 로 대입해 62500 ton·m, 서로 방향이

반대이므로 답은 125000-62500=62500 ton·m이다.

부력과 중력은 동일하므로  $w_1L_1 = w_2L_2$ 에서  $w_2 = 200N/m$ 을 구할 수 있다.

### 2004 조선기사

16. 다음 중 가장 확실한 선체 종강도 향상 방법은?

가. 선체 중앙횡단면의 2차모멘트 증가

나. 선체 중앙횡단면의 단면계수 증가

다. 선체 중앙횡단면의 단면적 증가

라. 선체 중앙횡단면적의 중립축 위치 조정

해설 :  $\sigma = \frac{My}{I} = \frac{M}{Z}$ 에서 가장 확실한 방법은 단면계수를 증가시키는 것이다.

### 2004 조선산업기사

17. 강력갑판 아래에 있는 갑판으로 선체 종강도의 구성부재가 되는 갑판은?

가. 유효갑판

나. 유보갑판

다. 선루갑판

라. 견현갑판

### 2004 조선산업기사

18. 선체 세로굽힘모멘트에 의한 굽힘응력은 선체횡단면의 중립축에서 어떤 값인가?

- 가. 최대값      나. 최대값의 1/2      **다. 0**      라. 최대값의 1/4

해설 :  $\sigma = \frac{My}{Z}$  에서 중립축이라는 말은  $y = 0$ 이므로  $\sigma = 0$ 이 된다.

### 2003 조선기사

19. 동일 배수량의 선박이라면 굽힘모멘트가 가장 크게 작용하는 선박은?

- 가. 폭이 좁고 길이가 긴 선박**  
나. 뚱뚱하고 길이가 짧은 선박  
다. 선수, 선미가 날씬하고 중앙부가 뚱뚱한 선박  
라. 폭이 넓고 길이가 짧은 선박

### 2003 조선기사

20. 단면의 가상 중립축에 관한 설명중 잘못된 것은?

- 가. 계산의 편의상 적당한 위치에 잡는다.  
나. 복잡한 단면의 2차 모멘트 계산에 활용된다.  
다. 가상중립축에 관한 2차 모멘트는 항상 실제 중립축에 관한 그것보다 크다.  
**라. 평행축 정리를 이용하여 실제 중립축 위치를 찾는다.**

### 2003 조선기사

21. 다음 선박 중 비틀 모멘트에 가장 취약한 배는?

- 가. 살물선      나. 유조선      **다. 컨테이너선**      라. 가스 운반선

해설 : 컨테이너선은 횡능골구조(횡단면에 횡강도부재 집중배치)를 가진 선박으로 횡강도가 강하다. 비틀 모멘트는 종강도와 관련이 있다.

### 2002 조선산업기사

22. 선체부재 중 단면계수의 계산에 포함되지 않는 것은?

- 가. 평판용골      나. 현측후판      다. 갑판거더      **라. 갑판특설보**

해설 : 보는 횡강도부재이다.

### 2009 조선기사

23. 다음 중 선체 비틀림 강도를 가장 우선적으로 고려해야할 선종은?

- 가. 유조선      나. LNG선      다. 여객선      **라. 컨테이너선**

해설 : 컨테이너선은 횡능골구조로서 비틀림 모멘트에 취약하다.

### 2009 조선기사

24. 선박의 횡단면에 걸리는 종굽힘모멘트가 180000kgf·m이고, 횡단면의 중립축에 관한 2차 모멘트가 54000m<sup>4</sup>, 중립축으로부터 갑판 최상층 부위까지의 거리가 1.8m, 선저 최하층 부위까지의 거리가 1.2m일 때, 이 횡단면에 작용하는 굽힘응력의 최대값은 약 몇 kgf/mm<sup>2</sup>인가?

- 가. 3.33      나. 4.00      **다. 6.00**      라. 7.20

해설 : 보통 중립축은 선저로부터 0.4D에 나타나는 것을 보여주고 있다. 최대굽힘응력은 중립축에서의 거리  $y$ 가 큰 갑판부에 발생하므로  $\sigma = \frac{My}{I}$ 에서 단위를 보정하여 구해보면  $\sigma = 6.00 \text{ kgf/mm}^2$

### 2003 조선산업기사, 2009 조선기사

25. 선측외판 중에서 강력갑판의 현측에 붙는 최상부 외판은?

- 가. 갑판 보      나. 갑판 스트링어      **다. 현측후판**      라. 마진판

### 2002 조선산업기사

26. 상갑판 또는 선저에 걸리는 굽힘허용응력이 170N/mm<sup>2</sup>, 세로굽힘모멘트가 255000t-m인 선박의 선체 중앙단면의 단면계수는?

- 가. 1.5m<sup>3</sup>      **나. 14.7m<sup>3</sup>**      다. 15.7m<sup>3</sup>      라. 2.0m<sup>3</sup>

해설 :  $Z = \frac{M}{\sigma} = \frac{255000 \cdot 10^3 \cdot 9.8}{170 \cdot 10^6} = 14.7m^3$

### 2004 조선기사

27. 선박구조에서 전단력의 발생과 거리가 먼 구조부는?

- 가. 이중저 늑골(floor) 단부  
나. 중립축 근처의 외판  
**다. 상갑판 중앙부**  
라. 선수에서 배길이 1/4 지점의 횡격벽 위치

2009 조선기사

28. 선체 중앙횡단면의 단면계수 계산에 포함되지 않는 것은?

- 가. 강력갑판    나. 창구코밍    다. 선측외판    라. 중심선 거더

해설 : 코밍은 해치에 물이 들어오지 않게 높게 설치하는 것이다.

2006 조선산업기사

29. 선체종강도 계산을 위하여 선체 세로방향의 각 위치에서 중량과 부력의 차이를 나타낸 곡선은?

- 가. 하중곡선    나. 전단력곡선    다. 굽힘응력곡선    라. 굽힘모멘트곡선

2006 조선산업기사

30. 다음 선체구조 부재 중 종강력재가 아닌 것은?

- 가. 용골    나. 외판    다. 중심선 거더    라. 녹골

2006 조선산업기사

31. 선체 횡단면을 나타내는 다음 그림의 선체 구조 부재 명칭 중 틀린 것은?



- 가. 1 : 중심선 거더    나. 2 : 내저판    다. 3 : 측 거더    라. 4 : 선측외판

해설 : 3은 마진판(margin plate)이다. 측 거더(side girder)는 중심선 거더의 좌우측에 나란히 배치된 부재이다.

# Section 041 횡강도 및 격벽구조

## 1. 횡강도

횡단면을 변형시키려는 횡하중에 대항하는 강도

### (1) 횡하중의 종류

- ① 정수압 ② 횡조하중 ③ 갑판하중 ④ 선창내 화물압력

### (2) 횡강도부재

- ① 보(beam) ② 늑판 ③ 횡격벽 ④ 횡늑골

### (3) 격벽

선내에 침수가 생기거나 화재가 발생하더라도 배 전체로 번지지 않도록 하는 역할을 하며 격벽판, 거더, 보강재 등으로 구성되며 최근에는 보강재 대신 파형격벽이 채용되기도 한다. 선수미 부분에는 설치간격이 좁고 중앙부 선창은 넓게 하는게 보통이다.

- ① 파형격벽 : 산적화물선(벌크화물선)에 설치되며 별도의 보강재(stiffener)없이 강판을 굴곡시켜 보강재를 생략한다. 작업이 용이하여 작업량이 감소하며 강재중량이 줄어들고, 화물 적재가 용이하나 화물 적재공간은 감소한다.
- ② 선수격벽 : 선수부는 충돌 위험이 높으므로 수밀구조를 가진다. 선수로부터  $L/20$  근처에 설치되며 선수격벽 앞에 선수창이 있으므로 견고한 디프탱크 격벽구조로 한다.
- ③ 선미격벽 : 선미부는 침수위험이 높으므로 수밀구조를 가진다. 선미격벽 뒤에 선미창이 있으므로 견고한 디프탱크 구조로 한다.
- ④ 기관실전후단격벽 : 기관실 전후단에 설치하는 수밀격벽
- ⑤ 축로위벽 : 기관실에서 프로펠러에 이르는 프로펠러 관의 침수를 방지하기 위해 수밀구조로 설치한다.
- ⑥ 제수격벽 : 선수창 내의 밸러스트수의 동요(자유표면)를 방지하기 위하여 설치한다.
- ⑦ 수밀격벽 : 일반적으로 폭방향으로 설치하며 선체의 손상시 침수된 물이 다른 곳으로 흘러가는 것을 방지함으로써 침수에 의한 선박의 침몰을 방지한다.

## 2. 기출문제

### 2009 조선기사

1. 벌크화물선의 횡격벽구조로 강재중량 감소 및 작업량 감소를 위해 사용하는 구조는?

가. 브래킷      나. 보강격벽      **다. 파형격벽**      라. 굽힘격벽

### 2003 조선산업기사

2. 선미격벽의 기능이 아닌 것은?

가. 선미 손상 시 침수 방지  
나. 선미관지지  
다. 횡강도 유지  
**라. 주기 중량지지**

### 2003 조선산업기사

3. 별도의 보강재(stiffener) 없이 강판을 굴곡시켜 보강재를 생략한 격벽은?

**가. 파형격벽**      나. 선수미격벽      다. 수밀격벽      라. 제수격벽

### 2003 조선산업기사

4. 강도가 충분하지 않을 경우 늑골(frame)의 설계방법과 거리가 먼 것은?

가. 특설늑골을 증설한다.  
나. 늑골의 치수를 증가시킨다.  
**다. 늑골간의 간격을 증가시킨다.**  
라. 집중하중을 받는 경우 늑골을 적절히 보강해준다.

### 2003 조선산업기사

5. 대형 선박에서 증설격벽에 해당되는 것은?

가. 선수전단 격벽      **나. 선창 격벽**      다. 선미 격벽      라. 기관실전단 격벽

### 2003 조선산업기사

6. 선수탱크(fore peak tank)내에 들어 있는 물의 자유표면의 영향을 방지하기 위하여 설치하는 것은?

**가. 제수격벽**      나. 수밀격벽      다. 브레스트 흑      라. 팬팅 스트링거

### 2003 조선산업기사

7. 횡늑골식 구조의 설명으로 부적합한 것은?

- 가. 구조가 간편하며 건조하기가 쉽다.
- 나. 재화(載貨)가 편리하다.
- 다. 소형 선박에 적합하다.
- 라. 단저구조에 종강도를 유지하는 데 유리하다.

해설 : 횡늑골식 구조는 횡강도에 유리하다.

### 2003 조선산업기사

8. 적도(赤道) 구역을 항해하는 선박에 나타나는 온도효과에 기인하는 응력의 분포는 어느 상태와 비슷한가?

- 가. 호킹 상태
- 나. 새깅 상태
- 다. 래킹 상태
- 라. 슬래밍 상태

해설 : 적도구역은 해수의 온도가 높아 선저부위의 응력이 감소하게 된다. 상대적으로 갑판부에 비해 선저의 강도가 약해지므로 배는 아래로 휘게 되고 호킹 상태와 비슷하게 된다.

### 2003 조선기사

9. 선체의 횡강도를 증가시키는데 기여하는 부재는?

- 가. 특설 늑골(web frame)
- 나. 중심선 거더(center girder)
- 다. 종격벽(longitudinal bulkhead)
- 라. 용골(keel)

해설 : 중심선 거더, 종격벽, 용골은 모두 종강도부재이다.

### 2003 조선기사

10. 선수선저부가 파도의 충격을 받을 때 나타나는 현상이 아닌 것은?

- 가. 선체 구조의 변형
- 나. 선체 구조 부재의 파손
- 다. 호킹 모멘트의 급격한 증가
- 라. 진동 및 소음의 발생

### 2003 조선기사

11. 선박의 구조부재 치수를 결정할 때 고려되어야 할 항목은?

가. 해수온도    나. 해류    **다. 부식(corrosion)**    라. 운항일수

해설 : 구조부재 치수는 허용응력, 부식 및 침식 등을 고려해야 한다.

### 2004 조선산업기사

12. 갑판 보(beam)의 치수 결정 요인이 될 수 없는 것은?

가. 보 지점간의 거리  
나. 갑판 하중의 크기  
**다. 필러(pillar)의 크기**  
라. 보 간격(space)

### 2004 조선기사

13. 다음 중 비수밀 격벽으로 해도 무방한 것은?

가. 선수 격벽    나. 선미 격벽    다. 기관실 전단 격벽    **라. 창내 격벽**

### 2004 조선산업기사

14. 다음 중 수밀 횡격벽의 중요한 역할이 아닌 것은?

가. 인접하는 구획의 침수를 방지한다.  
**나. 선체의 종강도를 높이고 국부하중을 지지한다.**  
다. 화재가 다른 구획으로 번지는 것을 지연시킨다.  
라. 화물의 적재 및 하역에 편리를 도모할 수 있다.

해설 : 수밀 횡격벽은 횡강도를 높인다.

### 2004 조선산업기사

15. 늑골 간격(frame space)란?

가. 한 늑골의 중심에서 다음 늑골의 중심까지  
나. 한 늑골의 앞면에서 다음 늑골의 배면까지  
**다. 한 늑골의 배면에서 다음 늑골의 배면까지**  
라. 한 늑골의 앞면에서 다음 늑골의 앞면까지

2004 조선기사

16. 격벽 등에 부착되는 보강재의 끝단 처리 방법 중 고착 강도가 가장 약한 것은?

- 가. 양단 브래킷    나. 양단 클립    **다. 양단 스닙**    라. 일단 브래킷, 타단 클립

2002 조선산업기사

17. 표준 늑골심거(frame space)란?

- 가. 두 늑골 중심에서 중심까지
- 나. 한 늑골의 배면에서 다음 늑골의 배면까지**
- 다. 한 늑골의 배면에서 다음 늑골의 앞면까지
- 라. 한 늑골에서 다음 늑골까지

2002 조선산업기사

18. 횡식구조 선박에서 횡강도 담당부재가 아닌 곳은?

- 가. 보    나. 늑골    다. 늑판    **라. 중심선 내용골**

해설 : 중심선 내용골은 종강도부재이다.

2002 조선산업기사

19. 창내 늑골(hold frame)만으로 횡강도가 충분하지 못하다고 생각되는 개소의 보강을 위하여 설치되는 것은?

- 가. 특설늑골(web frame)**
- 나. 실체늑판(solid floor)
- 다. 조립늑판(open floor)
- 라. 중심선거더(center girder)

해설 : 특설늑골은 보통 늑골보다 치수가 큰 늑골이다.

2002 조선산업기사

20. 파형격벽에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 스펠이 6.1m를 넘을 때는 중간에 트리핑 브래킷을 둔다.**
- 나. 오직 수형 파형만으로 제작되고 있다.
- 다. 일반격벽보다 강도는 좋으나 중량이 무겁다.
- 라. 포장화물이나 부피가 큰 화물을 적재하는 경우에도 굴곡부로 인한 적재량 손실이 없다.

2006 조선산업기사

21. 선박의 격벽 중 별도의 보강재를 붙이지 않고 단면 형상이 그림과 같은 격벽의 명칭은?



- 가. 파형격벽      나. 수밀격벽      다. 요철격벽      라. 비수밀 격벽

2006 조선산업기사

22. 선체 횡강도가 충분하지 않을 경우 늑골(frame)의 설치 방법 설명으로 잘못된 것은?

- 가. 특설늑골을 증설한다.  
나. 늑골의 치수를 증가시킨다.  
다. 늑골간의 간격을 증가시킨다.  
라. 집중하중을 받는 경우 늑골을 적절히 보강해 준다.

2006 조선산업기사

23. 다음 중 선체의 횡강도를 증가시키는데 가장 크게 기여하는 부재는?

- 가. 특설늑골      나. 중심선 거더      다. 종격벽      라. 용골

2006 조선산업기사

24. 선박의 어떤 경우라도 개구(開口)를 설치해서는 안되는 격벽은?

- 가. 선수격벽      나. 기관실격벽      다. 축로격벽      라. 선미격벽

해설 : 선수격벽은 선수부 파손 시 배의 침몰을 막기 위해서 매우 견고해야 한다.

# Section 042 국부강도

## 1. 국부강도

배의 부분구조 또는 구조부재에 국부적으로 작용하는 힘에 대항하는 강도

- ① 수압(정수압) : 외판, 늑골, 이중저구조
- ② 수압(종강도) : 외판, 갑판, 내저판, 중심선거더, 종늑골, 중보
- ③ 수압(횡강도) : 2중저구조, 늑판, 늑골, 기둥, 횡격벽
- ④ 수압(비틀림강도) : 외판, 갑판, 내저판, 중심선거더
- ⑤ 선체자중 : 종강도부재, 횡강도부재
- ⑥ 화물압력 : 갑판, 보, 기둥
- ⑦ 슬래밍압력 : 선수선저구조
- ⑧ 팬팅압력 : 선수선측구조
- ⑨ 풍압 : 상부구조, 선측구조
- ⑩ 건조, 진수, 입거시 압력 : 선저구조 (종강도부재)
- ⑪ 온도차에 의한 응력 : 종강도부재
- ⑫ 침수에 의한 압력 : 격벽구조
- ⑬ 프로펠러의 충격력 : 선수골재, 선미구조

## 2. 기출문제

### 2003 조선기사

1. 선체구조의 응력집중에 관한 설명으로 잘못된 것은?

가. 슬롯(slot) 등과 같이 가늘고 긴 작은 개구에서 크게 발생한다.

나. 균열을 방지하기 위해 맨홀 등에서는 그 주위에 면적 보상을 위한 보강재를 설치한다.

다. 개구부 모서리, 선루의 끝부분 등에는 큰 응력집중이 일어나기 쉽다.

라. 용접부나 구조적 불연속 지점에서 발생하기 쉽다.

### 2004 조선산업기사

2. 선체 구조에서 응력집중을 방지하기 위한 대책으로 잘못 된 것은?

가. 원형 구멍은 사각형 구멍으로 바꾼다.

나. 구멍 주위에 보강환을 붙인다.

다. 구조부재의 단면적의 불연속을 피한다.

라. 구멍의 위치를 부재의 중립축 근처로 옮긴다.

해설 : 원형 구멍이 사각형 구멍보다 버티는 힘이 강하다.

### 2002 조선산업기사

3. 선체에서 집중하중이 걸리는 부분에 대한 보강법이 아닌 것은?

가. 마스트와 같이 큰 모멘트가 작용하는 곳은 사방에 큰 브래킷을 설치한다.

나. 집중하중이 걸리는 갑판의 넓은 부위에 이중판을 대어 견고히 한다.

다. 집중하중 직하의 횡격벽은 집중하중에 의한 변형이 생기므로 가능한 필러나 갑판 빔으로 대체한다.

라. 갑판에서 횡 변형이 생기기 쉬운 곳의 하부에는 필러를 설치한다.

해설 : 횡격벽의 형태를 생각해보면 빔이나 필러보다 효과가 낫다는 것을 알 수 있다.

### 2002 조선산업기사

4. 기관실내 기계류를 지지하기 위하여 받침기초를 설치할 경우 강도상으로 고려해야 할 사항이 아닌 것은?

가. 응력이 집중되지 않도록 한다.

나. 하중이 선체구조부재에 넓게 분포되지 않도록 한다.

다. 선체구조 부재에서 얻을 수 있는 지지효과를 활용한다.

라. 받침기초에 굽힘모멘트에 의한 선체응력이 전달되지 않도록 한다.

해설 : 가능한 한 집중하중을 피하고 넓게 퍼지도록 해야 한다.

### 2004 조선산업기사

5. 갑판 위에 기중기와 윈드라tm(windlass) 등 갑판기기가 설치되는 곳은 국부 집중하중에 대한 보강이 필요하다. 다음 중 집중하중에 대한 보강방법과 거리가 먼 것은?

가. 기기 주위에 코밍을 설치한다.

나. 기기설치 갑판하에 필러를 설치한다.

다. 기기설치 부근 갑판에 겹판을 붙인다.

라. 기기설치 부근 갑판의 부재치수를 증가시킨다.

해설 : 코밍은 해치로 물이 들어가지 않게 해주는 것이다.

### 2006 조선산업기사

6. 배가 국부적으로 받는 응력이라 볼 수 없는 것은?

가. 선수미부에서 파랑의 충격으로 발생하는 응력

나. 갑판 일부의 중량물에 의한 응력

다. 프로펠러의 드러스트 블록에 생기는 응력

라. 새깅(sagging) 상태에서 갑판이나 선저에 발생하는 응력

2006 조선산업기사

7. 슬롯(slot) 구멍부의 보강을 위하여 부착하는 부재는?

가. 타이 플레이트   나. 칼라 플레이트   다. 키튼 플레이트   라. 링 플레이트

# Section 043 조선소 및 공장시설의 배치

## 1. 조선소 시설

### (1) 입지조건

- ① 좋은 항구에 있을 것.
- ② 기후가 온화한 곳에 있을 것.
- ③ 주요 자재의 입수에 편리한 곳에 있을 것.
- ④ 필요한 기술력 및 노동력을 얻기 쉬운 곳에 있을 것.

### (2) 공장배치 형태

- ① U형 : 조선소의 해안이 1번인 경우에 적합
- ② L형
- ③ I형
- ④ T형

### (3) 공장시설의 종류

- ① 선대 : 선체블록을 쌓아 올려 중량이 수천~수만 톤에 이르는 선체를 최종적으로 조립하는 장소로 선대의 크기에 의해 건조선박의 최대 길이나 폭이 결정되므로 선대는 조선소의 선박건조능력을 결정하는 기준이 된다.
- ② 드라이도크 : 최근 경사진 선대보다는 평평한 곳에서의 작업을 선호하기 때문에 수문을 설치해 건조 시에는 물을 뺀 상태에서 작업을 하고 진수 시에는 물을 들여보내 배를 띄우는 시설인 드라이도크를 설치하고 있다. 현대의 대형선 건조에 적합하다.
- ③ 강재적치장 : 해상에서 들어온 철판을 치수별로 구분하고 부식방지를 위해 페인트로 도장한 후 가공공장으로 보낸다.
- ④ 가공공장 : 강재적치장에서 들어온 철판을 조립장으로 보내기 전 작업을 하는 곳으로 철판과 형강재의 대부분이 여기서 가공된다. 설계도면에 따라 직선 및 곡선 절단, 판 굽힘 작업 등을 한다.
- ⑤ 소조립공장 : 가공공장에서 절단되어 나온 부재들을 조립한다. 가공공장의 출구에는 바로 소조립공장이 위치하며 철판에 간단한 보강재(Stiffener)나 브래킷 등을 붙이는 작업을 하며 조선소에서 가장 많은 자동화 용접이 이루어진다.
- ⑥ 대조립공장 : 주로 야외에서 이루어지며 소조립을 통해 만들어진 10톤 이내의 블록들을 모아 입체적인 대형 블록으로 만드는 곳으로 만들어진 블록은 수십~수백톤에 달하며 완성된 블록은 대형 크레인을 통해 선대나 드라이도크의 선체로 탑재된다.

(4) 조립공장에서 이용되는 크레인의 종류

- ① 호이스트(Hoist) : 훅이나 기타의 달기기구를 사용하여 하물을 권상 및 횡행, 또는 권상 동작만을 행하는 양중기를 말한다. \* 권상 : 화물이 올라가는 상태
- ② 리프팅 마그넷(Lifting Magnet) : 소조립 공장에서 강판의 이동 시 자력을 이용하는 장비, 자력을 이용한 호이스팅 기구
- ③ 포크 리프트(Fork lift) : 지게차

#### 4. 기출문제

##### 2004 조선산업기사

1. 선행의장 방식의 가장 중요한 잇점은?

- 가. 의장공사의 능률화로 건조공기가 단축됨
- 나. 의장공사의 품질관리가 용이함
- 다. 의장공사의 공기 단축으로 선대회전율이 향상됨
- 라. 고소작업의 감축으로 안전사고를 방지함

##### 2004 조선산업기사

2. 조선소의 해안이 1변인 경우에 적합한 공장배치 형태는?

- 가. I형          나. L형          다. U형          라. T형

##### 2004 조선산업기사

3. 내업공장의 기계 배치에 대한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 가공 순으로 직선적 배치
- 나. 작업면적을 고려하여 배치
- 다. 기계의 사용빈도와 가동률을 고려하여 배치
- 라. 기계의 점유면적 순으로 지그재그 형태로 배치

##### 2009 조선기사

4. 조선소의 입지조건에 대한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 조선소 규모에 적합한 해안선을 가지고 또 우수한 항구일 것
- 나. 동력이 풍부하고 주요 자재, 노동력 공급이 용이할 것
- 다. 간만의 차가 진수 출입 및 계류에 지장을 주지 않을 정도이고, 조류가 심하지 않을 것
- 라. 담수의 공급을 위하여 강우량이 많고 건선거 건설비의 절약을 위하여 지반이 연질일 것

### 2009 조선기사

5. 옥내 대조립 공장의 위치에 대한 설명으로 틀린 것은?

가. 반드시 해안선을 따라 배치되어야 한다.

나. 내업공장·소조립 공장에 직결되는 위치에 있는 것이 필요하다.

다. 독(Dock)보다도 내업공장과의 상관성을 중시하는 것이 바람직하다.

라. 선각공장배치 전체로서 재료의 운반 능력을 고려하여야 한다.

### 2009 조선기사

6. 소조립 공장에서 강판의 이동시 자력을 이용하는 장비는?

가. Hoist

나. Vaccum 조구

다. Fork lift

라. Lifting magnet

### 2003 조선산업기사

7. 최근 조선소 설비의 특징 설명으로 잘못된 것은?

가. 가공 및 소조립 공장은 대부분 옥내로 하여 우천 시에도 작업을 가능하게 한다.

나. 컴퓨터의 도입으로 원격 현도장의 활용도가 높다.

다. 선박의 대형화에 맞추어 건조 독(dry dock) 방식을 많이 채택한다.

라. 선행의장을 고려한 설비를 갖춘다.

### 2004 조선기사

8. 조선소의 공장배치에서 가장 먼저 고려하여야 할 사항은?

가. 부재의 원활한 흐름

나. 선박의 수주 능력

다. 보유 크레인의 규모와 수량

라. 생산관리 기법

### 2004 조선기사

9. 옥내 대조립 공장의 위치 선정에 대한 설명으로 잘못된 것은?

가. 가공공장, 소조립 공장과 직결되는 위치에 있어야 한다.

나. 내업공장보다는 선대(도크)와의 상호 관련성을 중시하여야 한다.

다. 재료의 운반 능력을 고려하여야 한다.

라. 자동화설비를 고려하여 충분한 면적을 가져야 한다.

# Section 044 선박건조방식

## 1. 선박 건조법

(1) 용접기술 : 용접이음의 개발로 판이음 작업이 단순화되어 능률을 획기적으로 높였다.

### (2) 블록건조법

선체를 수십 개 혹은 수백 개의 블록으로 분할하여 그 개개의 블록들을 지상에서 조립 제작하고 제작된 블록들을 순차적으로 선대 위에 탑재하여 하나의 선체로 조립해 내는 방법.

- ① 선대상의 높은 곳에서 행하여질 많은 고소작업을 지상에서 안전하고 쉽게 할 수 있다.
- ② 이 작업을 공장 내로 유치함으로써 작업을 기후의 영향으로부터 보호할 수 있다.
- ③ 공장 내로 유치된 작업은 여러 가지의 자동화가 용이해진다.
- ④ 선대작업량을 감소시킴으로써 선대 기간을 단축시키며, 블록 조립공사를 병행하여 수행함으로써 전체 건조 기간을 크게 단축시킬 수 있게 된다.
- ⑤ 블록조립을 선대공사에 선행하여 행하게 됨으로써 선행의장 등 신기술의 도입이 가능하다.

### (3) 선행의장

의장품을 선각블록이 선대상에 탑재되기 전에 선각블록에 미리 설치하는 것으로 의장공사가 보다 더 쉬워질 뿐 아니라 진수 후의 의장공사 기간을 단축시킴으로써 전체 건조 기간을 단축시킬 수 있다.

## 2. 선박 건조방식의 종류 및 특성(탑재 공정)

통상 용골거치는 안정상태의 블록을 기점 블록으로 하고, 선·수미 및 좌·우현, 상·하의 3방향으로 블록 탑재를 전개하는데, 전개방향의 주도에 따라 총식 건조법, 상형 건조법, 피라미드식 건조법으로 분류되며, 또 용골거치블록을 어디에 몇 개를 형성할 것인가에 따라 일점 건조법과 다점 건조법으로 분류된다.

### (1) 총식 건조방식

탑재기점으로부터 상 방향의 탑재 속도에 비해 선·수미 방향으로 탑재 속도를 빠르게 해서 단계적으로 탑재해가는 방식

### (2) 상형 건조방식

탑재 속도를 선·수미 방향보다도 상 방향의 속도를 빠르게 하여 선저에서 상갑판까지를 빠르게 하여 이를 한 구획단위로 전개하는 방식

### (3) 피라미드식 건조방식

이 방식은 총식과 상형식의 중간방식으로서 총식과 상형식의 장점을 살리고 단점을 보완하는 방식이며 일반적으로 이 방식이 가장 많이 적용되고 있다. 이 방식도 탑재 초기에는 선저 구조만으로 총식과 같은 양상을 보이지만 점차 선·수미 방향으로 진행되어 측면에서 보면 사다리꼴 모양과 같다.

### (4) 일정 건조법

탑재기점이 하나인 경우를 말하며, 대부분의 경우 이를 채택하고 있다.

### (5) 다점 건조법

탑재 기점을 둘 이상 채택하여 착수 시점은 다소 달라도 각각의 그룹 별로 공사를 시행하고 최후에 그룹 간의 접합을 MASTER BUTT에 의해 결합시키는 방법을 말하며 건조 기간의 단축을 요할 때 작업 물량의 불균형으로 평준화를 요할 때 적용한다.

### (6) 압출식 건조법(tandem 방식)

블록탑재시설을 선대의 머리 부분에 고정해 놓고 블록을 탑재하여 배의 한 블록길이만큼 뒤로 이동시킨 후 다음 블록을 탑재하는 것을 반복하여 나가는 방식으로, 우수한 성능의 시설과 장비를 한 곳에 집중 배치하여 활용도를 높일 수 있으며 블록을 윤절블록(선체를 단순히 가로로 잘라서 만들어지는 블록)으로 하였을 때 효과가 있으며 대형 선박에는 사용할 수 없다.

### (7) 선행건조법(semi-tandem 방식)

건조독을 사용할 때 적용할 수 있는 것으로 선체를 선미 부분과 선수 부분으로 분리하여 선미 부분을 건조독의 한쪽에서 선대 기공에 앞서 미리 건조한 후 선수 부분을 계속하여 건조함으로써 건조독 내에 항상 1.5척의 배가 건조 상태에 있도록 하는 것이다. 이로써 건조독의 활용도와 선대 인원의 활용도를 높일 수 있다.

### (8) 선행탑재법(Pre-erection)

조립 완료된 부품들을 선대 옆에 운반해 2~4개씩 지상에서 미리 결합하여 보다 큰 단위로 탑재하도록 하는 방법으로 선대상의 작업량을 줄여 선대 기간을 단축시키며 선행의장을 촉진시키는 효과를 발휘한다.

(9) 분할건조법

선체를 선미부와 선수부로 분할하여 개별적으로 건조해 해상, 건조독에서 물을 결합하는 방식으로 대개 한 선대를 이용해 선미부를 진수하여 기관실, 선실 구역의 의장공사를 진행하는 기간에 선수부를 건조하게 된다. 세미텐덤과 같은 효과를 기대할 수 있으나 두 선체를 결합하는 것의 어려움과 소요 시간 때문에 보편적으로 사용되지 않고 선대의 길이가 배의 길이보다 짧은 경우에 편법으로 사용된다.

(10) 기타 용어

① 코킹 업(cocking up) : 블록탑재 중 용접변형으로 인해 선수미부분이 치켜 올라가는 것

### 3. 기출문제

#### 2004 조선산업기사

1. 다음의 선박 건조방식 중에서 선수미의 코킹 업(cocking up)이 비교적 많이 일어날 우려가 있는 것은?

가. 상형건조법    나. 총식건조법    다. 압출식건조법    라. 피라밋건조법

#### 2009 조선기사

2. 건조 방식을 선택할 때 고려하여야 할 사항이 아닌 것은?

가. 공사량의 평준화가 쉬워야 한다.

나. 가능하면 상하작업과 혼재작업이 없어야 한다.

다. 조선소의 설비와 기술을 고려한 방식이어야 한다.

라. 선각은 선형화 작업을 하되, 의장은 안벽에서 작업을 집중할 수 있어야 한다.

#### 2002 조선산업기사

3. 건조 선대(dry dock)의 활용도를 높이는 방법으로 먼저 건조되는 선박의 건조와 병행하여 다음 건조될 선박의 선미부를 선대에서 같이 건조하는 건조법은?

가. 횡이동법    나. 압출식 건조법    다. 세미텐덤법    라. 2중 건조법

#### 2003 조선산업기사

4. 선박 건조방식 중 상형 건조법에 대한 설명으로 틀린 것은?

가. 코킹 업(cocking up)이 적다.

나. 검사 및 의장공사가 유리하다.

다. 탑재 초기에 선거의 잉여 면적을 활용할 수 있다.

라. 전개면적이 크므로 비교적 다수의 작업 인원이 흡수된다.

### 2003 조선산업기사

5. 선박건조에 있어서, 조립장과 탑재 선대 사이에 대블록을 만드는 중간 공정을 두는 탑재 방법은?

가. 세미 탄담법    나. 프리 이렉션법    다. 분할 탑재법    라. 층식 탑재법

### 2006 조선산업기사

6. 현대적 선박건조공법의 특징에 대한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 일품건조방식을 채택함
- 나. 블록건조공법을 적용함
- 다. 용접으로 선체를 접합함
- 라. 선행의장공법을 적용함

### 2006 조선산업기사

7. 블록 건조 방식의 이점이 아닌 것은?

- 가. 블록을 반전(turn over) 시킬 필요가 없다.
- 나. 선대 공사 기간을 단축시킬 수 있다.
- 다. 좋은 용접 자세로 용접하여 품질을 향상시킬 수 있다.
- 라. 작업원을 적절하게 배치하기가 쉽다.

### 2006 조선산업기사

8. 선박의 건조방식 중 2~3개의 기점에서부터 블록을 쌓아올림으로써 건조기간을 단축할 수 있는 건조방식은?

가. 층식 건조법    나. 상형(相形) 건조법    다. 사다리꼴 건조법    라. 다점(多点) 건조법

### 2006 조선산업기사

9. 이중저 블록(double bottom block)의 선행의장 공사에 포함되는 작업은?

가. 선체 배관공사    나. 각종 보기의 거치공사    다. 전선 포설공사    라. 늑판의 조립

# Section 045 현도공정

## 1. 건조공정

배의 건조공정은 현도·가공·조립·탑재(선대)·진수의 5대 공정으로 나눌 수 있다.

## 2. 현도공정

강재를 사용하는 실제 작업을 위한 준비단계로서, 설계 과정에서 만들어진 배의 선도는 1/50이나 1/100축척으로 그려져 실제 공사용으로 사용할 수 있을 정도로 정확하지 않기 때문에 이를 원칙으로 수정하여 공사용 선도를 작성하여 실제 강재를 절단하고 굽히고 부착하는데 필요한 자료 및 형을 제작하는 일들을 하는 단계로 예전에는 원칙으로 그릴 수 있는 넓은 면적의 현도장을 필요로 하였으나 현재는 컴퓨터를 이용하거나 부분적으로 1/10축척을 행하여 현도장의 면적과 업무량이 많이 축소되었다.

이러한 현도작업은 선도작업, 곡면전개작업, 형뜨기작업으로 구성된다.

### (1) 선도작업

선도는 현도공사의 기초가 되며 선도의 순정과 공사용 선도 작성으로 나눌 수 있다.

#### ① 순정작업

원래의 설계용 선도가 가진 오차를 원칙으로 그려 정확하게 수정하는 것으로 먼저 수선과 버토크선(종단면선, buttock line)의 교점이 평면도와 측면도에서 같은 위치에 오도록 조정하여 정면도에 옮겨 확인하는 것을 되풀이하여 진행한다.

#### ② 공사용 선도 작성

순정된 선도를 가지고 실제 작업에 필요한 횡능골선, 종능골선, 외판의 이음선(seam line) 등을 그려 넣는 일이다. 먼저 평면도와 측면도 상에 능골의 위치를 잡고 이를 정면도에 옮기는 식으로 진행하며 다음으로 외판전개도로부터 외판의 치수에 따라 외판의 이음부 위치를 정하여 정면도에 기입한다. 이를 랜딩(landing)이라고 하며 중앙부 외판에서부터 시작하며 가급적 이음부의 수를 적게 하고 이음선이 직선이 되게 하여 강재 사용률을 높이고 작업량을 줄이도록 해야 한다. 공사용 선도가 완성되면 정면도만 남기고 나머지는 지워버린다.

## (2) 곡면전개작업

선체의 곡면이나 입체적인 부재를 평면표재로부터 만들기 위해 이들 형상을 평면으로 전개하는 작업이다. 선체의 곡면은 그 절단면들의 투영도로서 선도 상에 표현되어 있는데 선체 곡면상의 한 곡선은 선도 상에 실제 길이 또는 투영된 길이로 나타나기 때문에 곡면전개작업에서는 이들의 실제 길이를 구하여 그리게 되며 상당한 기하학적 화법기술이 요구된다. 2차원은 완전한 전개가 되지만 3차원은 근사전개가 되며 굴곡이 심할수록 오차가 크다.

- ① 기선전개법 : 늑골선이 거의 평행에 가까운 경우에 주로 사용되는 방법이다.
- ② 대각선전개법 : 선미 등의 커브가 급격한 곳의 전개에 사용되고, 또 소형선의 외판전개에 좋은 방법이다.

## (3) 형뜨기 작업

원판 위에 부재형상을 마킹하고 부재를 굽히기 위한 일회용 도구로서 자와 형(型)이 사용되는데, 형은 다시 사용 목적에 따라 평형과 굽힘형으로 구분된다.

- ① 자 : 미송 등으로 된 긴 막대나 스틸테이프로 만들어지며, 삼각형, 사각형 혹은 사다리꼴과 같이 직선으로 이루어진 부재는 자에 필요한 길이의 눈금을 표시하여 마킹에 이용하며 완만한 곡선도 그릴 수 있다.
- ② 평형 : 평면형상을 그릴 수 있도록 마분지(작은 것)를 오리거나 목판(큰 것)을 조립하여 만든 것으로 많은 횟수로 반복하여 사용하는 것은 얇은 철판으로 만들기도 한다.
- ③ 굽힘형 : 부재를 곡면으로 굽힘 가공을 하기 위한 것으로 곡면을 일정한 간격으로 절단하여 각 단면의 곡선을 형(단면형)으로 만들어 내는 것이 보통이다. 곡면의 특성에 따라 횡단면 또는 종단면으로 하며 복잡한 곡면은 두 방향의 단면을 모두 적용하기도 한다. 형태에 따라 가로굽힘형, 세로굽힘형이 있다.

### 3. 기출문제

#### 2004 조선기사

1. 선체 외판전개도로부터 외판의 치수에 따라서 외판의 심(seam)위치를 결정하는 작업은?

가. 랜딩(landing)    나. 스틸러(stealer)    다. 시프트(shift)    라. 스킨(skin)

#### 2003 조선기사

2. 외판의 랜딩(landing) 작업 시 시작 기점은?

가. 선수부 외판    나. 중앙부 외판    다. 선미부 외판    라. 선저 외판

#### 2002 조선산업기사, 2003 조선기사

3. 조선 공정의 흐름 순서로 옳은 것은?

가. 현도공정 - 가공공정 - 조립공정 - 선대공정 - 진수작업  
나. 현도공정 - 선대공정 - 가공공정 - 조립공정 - 진수작업  
다. 현도공정 - 조립공정 - 선대공정 - 가공공정 - 진수작업  
라. 현도공정 - 가공공정 - 선대공정 - 조립공정 - 진수공정

#### 2002 조선산업기사

4. 선박 건조의 공작관리도표를 작성하는 데 있어서 가장 중요한 것은?

가. 생산성    나. 관리성    다. 기술성    라. 경제성

# Section 046 가공공정

## 1. 가공공정

강재를 사용하는 실제 작업의 첫 공정으로서 강재 표면에 절단, 굽힘, 부착 등에 필요한 선과 기호를 기입하는 마킹 작업, 강재를 필요한 부재 모양으로 잘라내는 절단작업, 부재를 필요한 형상으로 굽히는 굽힘작업으로 구성된다. 강재는 강재치장(Stockyard)으로부터 반입되는데, 반입되기 전에 녹을 방지하기 위한 도장을 하는 전처리공정도 넓은 의미의 가공공정에 포함되기도 한다.

## 2. 가공공정 : 마킹(Marking)

제작할 부재의 형상과 작업에 필요한 기호, 번호 등을 강재 상에 그려 넣는 작업으로 현도 작업으로부터 자료가 주어지며 원래는 손으로 하였으나 요즘은 사진 마킹과 자동 마킹이 개발되었다.

### (1) 마킹 방법

- ① 절단 : 가스절단을 위한 마킹은 절단 후에 필요한 부재의 규격이 만들어져야한다. 가스절단은 철판을 어느 정도의 폭으로 태워버리므로 소정의 여유를 가산해야한다. 절단선은 절단 후 지워지므로 절단의 정확도 확인이나 다른 부재와의 조립시에 작업의 정확도를 유지할 수 있도록 차월선을 넣어준다. 차월선은 절단선으로부터 안쪽 50mm 또는 100mm에 절단선에 평행하게 마킹하는 것이다. 개선을 위해서는 개선의 종류와 개선 각도를 표시한다.
- ② 굽힘 : 롤러로 굽히는 작업을 위해 롤러선을 마킹하여 준다. 오차를 고려하여 판의 끝에 굽힘 여유를 주기도 하며 굽힘 가공 후 다시 다듬질 마킹을 한다.
- ③ 조립 : 조립을 위한 마킹에는 부착선, 늑골선, 부재의 이음방법을 표시하는 기호 등이 있으며 조립 시 블록의 정확한 형상유지를 위해 조립 기준선을 설정하며 대개 수선과 버토크선 등의 일부를 마킹하여 사용한다. 블록의 조립 시 용접과 변형 교정 작업에 의한 변형이 따르기 때문에 강판에 윤곽잡기 마킹을 하였다가 용접 후 다듬질 마킹을 한다.

### (2) 전자사진마킹

마킹 작업을 능률적으로 수행하기 위해 사진촬영의 원리를 이용한 마킹법. 마킹은 손으로 하기도 하나 강판표면에 감광제를 칠하여 직접 인화하는 전자사진마킹(EPM)이 사용된다. 강판이 길면 오차가 커지므로 몇 개의 부분으로 나누어 투사할 필요가 있으며 후에 자동절단기의 출현으로 현장에서 멀어지게 된다.

### 3. 가공공정 : 절단

절단작업의 정밀도가 후공정(조립, 탑재)에서의 작업 능력에 지대한 영향을 미치므로 정도 높은 작업이 요구되며 이로 인해 폭넓은 자동화가 이루어졌다. 그 방법에는 기계, 가스, 플라즈마 절단 등이 있으나 기계절단은 절단면이 고르지 못하여 소품재나 부재가 아닌 치장류 제작에만 쓰이는 정도이고 플라즈마 절단은 아직 실용 단계에 이르지 못하여 가스절단이 그 대종을 이루고 있다.

- ① 수동가스절단기 : 산소공급용 구멍과 아세틸렌가스 공급용 구멍으로 된 화구를 간단하게 공급 호스로 연결하고 손잡이가 있는 것으로 작업자가 임의의 자세로 사용할 수 있어 조립 및 탑재공저에서도 많이 사용된다.
- ② 가반식 가스절단기 : 전기모터로 구동하는 자주기에 화구를 붙여놓은 것으로 간단한 가반식 레일 위에 올려놓고 직선주행시킴으로써 절단을 수행하는 것이다. 수평직선 절단에 사용이 한정된다.
- ③ 플레임 플래너(flame planner) : 고정 레일 위를 주행하는 긴 문형의 거더로 된 자주기에 여러 개의 화구를 붙여놓은 것으로 화구간의 간격을 조절하여 여러 개의 직선을 동시에 절단할 수 있게 된 것으로 긴 부재의 절단에 매우 능률적이다.
- ④ 확대식 가스절단기 : 축척의 절단도면상의 선을 라인 트레이서 등으로 추적하여 따라가도록 하고 화구가 이에 연동하여 확대 운동하는 것이다.
- ⑤ 수치제어식(NC) 가스절단기 : 컴퓨터를 이용하여 화구의 운동을 조작하는 것으로 부재의 형상을 미리 프로그램하여 사용한다.
- ⑥ 산소-에틸렌 절단 : 선내 작업이나 협소 공간 작업에서 적합하며 에틸렌의 비중은 산소보다 가볍다. 화학적 안정성이 산소-아세틸렌 절단에 비해 높다.
- ⑦ 청열취성(靑熱脆性, blue shortness) : 탄소강의 경우 250~450℃에서 인장강도 및 경도가 최대치를 나타내고 연률 및 단면수축률은 최소치를 보인다. 이온도 부근에서는 상온에서 보다는 취약한 성질을 가지며, 이것을 청열취성이라 한다. 이 부근의 온도에서는 소성가공을 피하는 것이 좋다. 가벼운 표면산화에 의한 철시편의 표면이 청색을 보인다하여 붙인 말이다.
- ⑧ 가스절단 시 변형방지법 : 수냉각법, 가열법, 구속법

## 4. 가공공정 : 굽힘

과거에는 가열로에서 가열하여 가공하였으나 최근에는 여러 가지 기계와 기법이 개발되어 가열로는 사용되지 않는다. 크게 기계를 사용하는 방법과 가열하는 방법으로 구분되며 모두 작업자의 경험과 숙련을 요하며 많은 부재가 두 방법을 혼용한다.

### (1) 굽힘기계 : 2차원곡면에 국한

- ① 벤딩 롤러 : 3~4개의 긴 롤러를 조합하여 그 사이에 강판을 끼워 눌러 밀어넣는 실린더형 굽힘에 사용되며 조립방법에 따라 피라미드형과 핀치형으로 구분된다. 피라미드형은 구조가 간단하고 시설비가 싸지만 판의 끝부분의 굽힘이 곤란한 결점이 있으며 핀치형은 구조가 복잡하고 시설비도 비싸지만 판의 끝부분의 굽힘이 유리하다.
- ② 빔 벤더 : 한 개의 유압기와 두 개의 받침대를 수평으로 배치하고 그 사이에 빔을 끼워 누르도록 된 것으로 두 받침대의 간격을 조절하여 굽힘의 곡률을 조정한다.
- ③ 유압프레스 : 유압기를 수직으로 배치하여 유압기로 내리눌러 굽히는 기계로서 소부재의 굽힘에 적합하며 여러 형태의 것들이 있다.

### (2) 가열굽힘 : 3차원곡면에 중요

강재가 국부적으로 가열되었다가 냉각되면 가열되었던 부분이 수축하는 성질을 이용한 것이다.

- ① 부분가열법 : 판의 가장자리를 국부적으로 가열하고 수냉시켜 수축을 유발하는 것으로 수냉을 시킴으로써 열이 다른 부위로 전달되는 것을 막아 국부적인 수축을 유도한다. 만곡이 심한 곡면 굽힘에 사용되며 가열 후 해머 등으로 타격을 가하기도 한다.
- ② 선상가열법 : 강판의 표면을 버너로 직선으로 가열하고 즉시 냉각해 나감으로써 굽힘을 발생시키는 방법이다. 작업자의 숙련이 필요하다.
- ③ 점가열법 : 강판의 표면을 점으로 가열하여 즉시 수냉시켜 나가는 방법으로서 굽힘원리는 선상가열법의 그것과 동일하며 간단히 수축시킬 목적으로 사용되며 굽힘보다는 변형 교정에 많이 사용된다.

## 5. 기출문제

### 2004 조선산업기사

1. 가공별로 분류한 마킹 작업의 종류에 속하지 않는 것은?

가. 다듬질 마킹    나. 사진 마킹    다. 윤곽잡기 마킹    라. 블록 마킹

### 2009 조선기사

2. 산소-에틸렌 절단에 대한 설명으로 틀린 것은?

가. 불꽃의 집중성이 아세틸렌보다 강하다.

나. 선내 작업이나 협소 공간 작업에서 적합하다.

다. 절단에 사용되는 에틸렌의 비중은 공기보다 가볍다.

라. 화학적 안정성은 산소 아세틸렌절단 방법에 비해 높다.

### 2002 조선산업기사

3. 열간가공은 강재를 가열하여 해머 등으로 외력을 가하여 가공을 하는 방법이다. 이 때 가능한 피해야 하는 가열 온도의 범위는?

가. 950℃ 이상    나. 850~900℃    다. 250~450℃    라. 250℃ 미만

### 2004 조선기사

4. 강의 청열취성(靑熱脆性) 온도의 범위는?

가. 100~200℃    나. 250~450℃    다. 500~650℃    라. 800~1000℃

### 2004 조선기사

5. 플라즈마 절단법에 대한 설명 중 틀린 것은?

가. 고밀도의 열원인 플라즈마를 이용하여 국부적으로 강재를 녹여서 고압가스로 불어내어 절단하는 방법이다.

나. 플라즈마 아크 방식은 전기전도성이 없는 세라믹이나 플라스틱의 절단에도 사용할 수 있다.

다. 가스절단보다 절단 속도가 2~5배 빠르며 절단변형이 적다.

라. 전극으로는 텅스텐, 하프늄, 지르코늄 및 그들의 합금이 사용된다.

2003 조선산업기사

6. 플레임 플레이너(flame planner)의 주요 용도는?

- 가. 강판을 둥글게 말거나 곡가공
- 나. 용접개소의 변형의 교정
- 다. 강판의 직선 절단 및 용접 개선
- 라. 강판에 다수의 구멍을 동시에 뚫기

2003 조선산업기사

7. 강판의 가스절단 작업 시 활용되는 변형방지법으로 부적당한 것은?

- 가. 역각도법
- 나. 수냉각법
- 다. 가열법
- 라. 구속법

해설 : 가열법은 용접으로 인한 국부가열을 방지하기 위해 전체 또는 국부를 미리 가열하는 방법이다.

2002 조선산업기사

8. 다음 중 가공공사에 속하지 않는 작업은?

- 가. 마킹
- 나. 절단
- 다. 굽힘
- 라. 선형의장

2006 조선산업기사

9. 선체 내업(가공)공사 공정을 순서대로 옳게 나열한 것은?

- 가. 절단 → 벤딩 → 마킹 → 변형제거
- 나. 절단 → 변형제거 → 마킹 → 벤딩
- 다. 변형제거 → 마킹 → 절단 → 벤딩
- 라. 변형제거 → 절단 → 마킹 → 벤딩

2006 조선산업기사

10. 마킹 작업 시 절단선으로부터 50 ~ 100mm 떨어진 위치에 나란한 선을 넣어 절단선의 기준이 되고, 판이음이나 조립시에 참고할 수 있는 선은?

- 가. 차월선
- 나. 기선
- 다. 맞춤선
- 라. 부착선

# Section 047 조립공정

## 1. 조립공정

가공공정을 거쳐 제작된 부재들을 조립하여 선각블록을 만드는 공정으로 소조립공정, 대조립공정으로 분리되며 그 사이에 중조립공정이 필요할 때도 있다. 소조립은 주로 보강재(stiffener)와 같은 간단한 골재를 붙이는 일이고 대조립은 부재 및 소조립 블록들을 결합하여 최종단위의 블록을 완성하는 일이 된다. 부재와 부재의 결합은 용접으로 이루어진다.

부재 및 블록을 운반할 천정 크레인을 필요로 하며 작업을 보호하기 위해 대개 건물을 세운다.

## 2. 소조립

작은 부재들을 모아서 블록조립 시 취급하기 쉬운 형상 및 크기로 조립하는 것으로, 블록 상에서 할 작업을 지상에서 행함으로써 보다 쉽고 능률적으로 할 수 있으며 블록조립기간을 단축시킬 수 있다. 작은 브래킷에서부터 5~10톤 정도의 것들까지 있다.

## 3. 블록조립

### (1) 평면블록 조립

평면블록은 선체 평행부의 갑판블록, 측외판블록, 격벽블록 등과 같이 주부재가 평면으로 된 것으로 블록 중 가장 간단한 구조로 되어 있다. 판재용접, 종늑골 및 횡늑골 위치 마킹, 종늑골(론지) 용접, 횡늑골(트랜스) 용접의 순으로 이루어지며 직선부재의 용접은 자동화가 가능하여 대개 컨베이어 식의 조립라인을 갖추고 있다.

### (2) 격자조립방식(egg box식)

평면블록에 대한 위의 조립방식은 여러 단계의 작업으로 되어 있어 면적을 많이 차지하고 각 단계별 작업량이 달라 작업 흐름의 유지가 어렵다. 이를 보완하기 위한 방식으로 판재이음을 행하는 동시에 론지와 트랜스를 별도로 조립하여 그것들을 다시 조합하는 것이다. 론지와 트랜스의 조립은 이에 맞는 틀을 미리 설치하여 수행하며 평판 위의 마킹을 생략할 수 있다.

### (3) 곡면블록 조립

곡면블록은 선수 및 선미의 측외판블록과 같이 주부재가 완만한 곡면으로 되어있는 것으로 곡면판재의 이음 작업 이외에 조립순서는 평면블록의 것과 동일하다. 다만 곡면부재의 이음 작업을 위하여 곡면기초를 형성하는 지그(jig)를 설치해야한다. 이 지그는 쇠붙이를 잘라 일회용으로 배치하기도 하지만 높이를 조절할 수 있는 것(핀 지그)으로 일정한 간격(1m)으로 고정 설치하는 것이 능률적이다.

#### (4) 입체블록 조립

입체블록은 선수 및 선미의 심한 곡면을 끼고 있거나 복합적인 입체구조를 갖는 것으로 조립방식은 그 형상과 구조에 따라 다르며 조립 과정에서의 치밀한 설계를 필요로 한다.

### 4. 조립방식

#### (1) 택트 방식

절동작업방식. 제2차 세계대전 중 독일에서 고안된 것이다. 공정을 작업시간이 동일하게 되도록 tact(박자)로 나누어서 각각의 tact를 담당하는 작업조를 편성한다.

작업자는 고정된 채 물건이 보내지는 경우와 물품은 고정하고 작업자가 이동하는 경우가 있다. 이 때문에 소량생산에도 적용할 수 있다. Tact system은 컨베이어시스템에 비하여 인간소외의 문제는 적으나 작업의 계속성, 동시진행이 확실하게 이루어지지 않기 때문에 작업능률은 저하된다고 할 수 있다.

#### (2) GT(Group Technology) 방식

다품종 소량생산방식의 하나로 부품을 모양, 치수, 가공법 따위에 따라 분류하고 부호화하여 제품을 생산하는 방식이다.

#### (3) JIT(Just In Time) 방식

일본에서 유래된 방식으로 주문을 받는 즉시 생산하는 방식이다.

### 5. 용접

선체건조에 있어 부재를 이어붙이는 유일한 수단이며 블록 조립뿐만 아니라 탑재공사에서도 큰 비중(40~60%)을 차지한다. 사용되는 전기아크용접은 선체에 변형과 잔류응력을 발생시키므로 대처방안이 필요하며 능률향상을 위한 자동화의 확대가 중요하다.

#### (1) 아크 용접(electric arc welding)

두 전극을 고온의 아크로 연결시켜 금속을 녹이는 원리를 이용한 것이다. 용접기는 변압기의 일종으로 아크를 안정 상태로 유지시키는 역할을 하며 양호한 용접을 위해 아크를 공기 중의 산소 등 활성물질로부터 차단시켜야한다. 용접봉의 각 물질은 수동용접(피복재), 자동서브머지드 용접(입상의 플럭스),  $CO_2$ 용접( $CO_2$ 가스) 모두 용접시에 아크를 둘러싸서 보호하는 역할을 한다.

## (2) 용접변형과 잔류응력

용접 시 가열되는 주위 금속에 수축이 일어나는 데 이것은 그 주위 구속으로 인해 어느 정도 억제되며 이로 인해 잔류응력이 생긴다. 구속을 하여 용접 변형을 감소시키면 잔류응력이 증가하고 구속을 적게 하여 변형을 크게 하면 잔류응력은 작아진다.

용접에 의한 수축은 부재에 가로방향 수축, 세로방향 수축, 각 변형을 유발하며 이러한 변형들이 복합되어 휨, 뒤틀림 등으로 나타난다. 각 변형은 반대면에 선상가열 등으로 수축을 유도하여 수정할 수 있으나 가로 및 세로방향 수축은 부재를 구속하는 방법 외에는 대책이 없다.

(3) 필릿 용접(Fillet weld) : 직교 또는 서로 경사지는 부재의 교선을 따라 용접하는 것

- ① 용접 이음부의 틈새가 4.5mm 이상 : 라이너를 삽입하여 보수한다.
- ② 용접 이음부의 틈새가 3~4mm 이하 : 본용접 시 규정 다리 길이에 틈새 양만큼 증가시켜 용접한다.

## (4) 가용접

본용접 전에 용접물을 정해진 위치에 잠정적으로 유지하기 위해 짧은 길이로 된 용접

(5) 맞대기 용접 : 두 모재를 측면으로 마주 붙이는 용접

## (6) 예열이 필요한 용접

- ① 예열로 인한 손상의 우려가 있으면 최소한으로 하거나 하지 않는다.
- ② 크랙(금) 발생부의 보수 용접
- ③ 균열발생의 염려가 있는 곳의 용접
- ④ 대형 주강품과 강판을 결합하는 용접

## (7) 용접변형 방지법

- ① 구속법(=억제법) : 정반에 고정시키거나 보강재를 이용해 변형을 방지하는 방법. 가장 널리 쓰인다.
- ② 역변형법 : 변형을 미리 예측하여 용접 전에 반대방향으로 변형을 주고 시작하는 방법
- ③ 용접 순서를 바꾸는 방법
  - 후퇴법 : 용접선의 전 길이를 적당한 길이로 구분하여 국부 구간의 용접은 전진하지만 전체 구간은 후진하는 방법
  - 대칭법 : 용접선이 긴 경우 중앙에서 시작해 좌우로 한번씩 대칭적으로 비드를 놓아 변형 발생을 경감시키는 방법
  - 비석법 : 전 길이를 적당한 길이로 구분하여 한칸씩 건너뛰어 용접한 후 다시금 빈 구간을 용접하는 것으로 잔류응력이 가장 적게 남는다.

교호법 : 용접선의 처음, 중앙, 끝에 비드를 배치하여 이등분한 후 다시 등분된 곳의 중앙에 비드를 놓는 방법.

- ④ 냉각법 : 열 영향부위를 축소시켜 변형을 방지하는 방법, 수냉동판사용법, 수냉법, 살수법, 석면포 사용법 등이 있다.
- ⑤ 가열법 : 용접에 의한 국부가열을 피하기 위해 전체 또는 국부를 미리 가열하는 방법
- ⑥ 피닝법 : 가늘고 긴 피닝망치로 용접부위를 계속 두드리는 방법

## 6. 기출문제

### 2004 조선기사

1. 예열을 필요로 하는 용접이 아닌 것은?

- 가. 크랙 발생부의 보수 용접
- 나. 균열발생의 염려가 있는 곳의 용접
- 다. 판두께 15mm 이하의 강판 용접
- 라. 대형 주강품과 강판을 결합하는 용접

### 2003 조선산업기사

2. 필릿 용접 이음부의 틈새가 3~4mm 이하인 경우 보수 방법은?

- 가. 본용접 시 규정 다리 길이에 틈새 양만큼 증가시켜 용접한다.
- 나. 라이너를 삽입한다.
- 다. 뒷면 댄쇠를 대고 용접한다.
- 라. 재료의 일부를 새로이 취환한다.

### 2003 조선산업기사

3. 조립할 피용접물을 일정한 형상으로 유지하는 본용접의 준비 공정은?

- 가. 가용접      나. 필릿(fillet)용접      다. 맞대기 용접      라. 슬릿용접

### 2003 조선산업기사

4. 선체 블록 분할 시 유의사항으로 잘못 설명된 것은?

- 가. 크레인 능력에 따라 블록의 무게를 제한한다.
- 나. 운반 및 반전 작업 시에 변형이 되지 않도록 한다.
- 다. 선수미 블록은 평면 블록으로 분할한다.
- 라. 선형을 결정하기 쉬운 블록으로 한다.

해설 : 선수미의 경우에는 곡면 또는 입체블록이 주로 사용된다.

### 2003 조선기사

5. 선체 용접작업시 용접변형을 방지하는 방법으로 부적합한 것은?

- 가. 수축은 될 수 있는 대로 자유단으로 보낸다.
- 나. 중앙에 대하여 대칭적으로 용접한다.
- 다. 용접 층수를 되도록 작게 한다.
- 라. 용접 속도를 되도록 느리게 한다.

해설 : 속도가 느리면 용접에 노출되는 시간이 길어져 변형량이 커진다.

### 2003 조선기사

6. 서브머지드 아크 용접(submerged arc welding)의 장점이 아닌 것은?

- 가. 고품질의 용착 금속을 얻을 수 있다.
- 나. 용착 속도가 빨라 고능률적이다.
- 다. 전자세 용접이 가능하다.
- 라. 가스나 연기가 발생하지 않으므로 작업 환경이 좋다.

### 2003 조선기사

7. 강재 가공작업의 종류 중 용접의 발달로 그 필요성이 없어진 작업은?

- 가. 플랜징(flanging) 나. 코킹(caulking) 다. 절단 라. 마킹(marking)

해설 : 플랜징은 소재의 단부를 직각으로 굽히는 작업이고 코킹은 리벳의 머리나 금속판의 이음새를 두들겨서 기밀(氣密)하게(틈을 메우는) 하는 작업이다.

### 2003 조선기사

8. 선체 블록 중 곡면 블록에 속하는 것은?

- 가. 선체 평행부의 갑판 블록
- 나. 선수 및 선미의 측외판 블록
- 다. 선체 평행부의 선저 블록
- 라. 격벽블록

해설 : 가, 다, 라는 전부 평면 블록이다.

2002 조선산업기사

9. 다음과 같이 용접방향과 용착방향이 반대인 용접법은?

- 가. 전진법
- 나. 대칭법
- 다. 후퇴법
- 라. 비석법



2009 조선기사

10. 조립공정에서 사용되는 방법으로 라인화된 정반에서 작업자가 공정 팀별로 움직이며 정해진 작업을 진행하여 공정을 진행하는 방식으로 절동작업방식이라고도 하는 방식은?

- 가. 택트(Tact)작업
- 나. 스테이지(Stage)작업
- 다. JIT(Just In Time)작업
- 라. GT(Group Technology)작업

2002 조선산업기사

11. 필릿 용접이음에서 틈새가 3~4mm 정도로 발생했다. 이 경우 보정방법으로 옳은 것은?

- 가. 라이너 삽입 용접
- 나. 뒷면 댄쇠 사용 용접
- 다. 폭 150~200mm 치환
- 라. 다리길이(각장)를 증가시켜 용접

2004 조선산업기사

12. 용접순서의 일반적인 원칙에 어긋나는 것은?

- 가. 용접에 의한 수축은 항상 자유단에서 발생하도록 한다.
- 나. 판용접일 경우에는 가로 이음새(butt)를 먼저 용접한다.
- 다. 수축량이 적은 것부터 큰 순서대로 용접한다.
- 라. 맞대기 용접과 필릿 용접이 교차할 때에는 맞대기 용접을 먼저 한다.

2004 조선산업기사

13. 판두께는 19mm인 선각외판을 자동용접으로 용접하고자 한다. 다음 중 가장 적합한 개선형상은?



정답 : 다.

2003 조선기사

14. 다음 용접 개선(開先) 형상 중 두꺼운 판 이음시에 적용되는 형상은?

- 가. I형      나. V형      다. X형      라. J형

2004 조선기사

15. 조선소 설비 중 상하 높이의 조절이 가능하여 곡외판 블록을 거치하는데 사용되는 설비는?

- 가. 사각정반      나. 포지셔너      다. 핀 지그      라. 클램핑 거더

2002 조선산업기사

16. 선체 건조 작업시 스트롱 백(strong back)이란?

- 가. 용접시 루트부의 과용용으로 인한 용락을 방지하기 위해 이음부 뒤편에 대는 백킹판  
나. 용접시 변형을 방지하거나 이음부 판재의 상대위치를 정확히 하기 위해 사용하는 판  
다. 고소 작업시에 작업이 가능하도록 임시로 붙이는 발판  
라. 용접의 시작부와 끝부분에 결함이 남는 것을 방지하기 위해 판 시작부 및 끝부에 부착하는 작은 판

2006 조선산업기사

17. 조립할 피용접물을 일정한 형상으로 유지하는 본용접의 준비 공정은?

- 가. 가용접      나. 필릿 용접      다. 맞대기 용접      라. 슬릿 용접

2006 조선산업기사

18. 강판의 크랙을 용접으로 보수 작업할 때 균열의 발전을 막기 위하여 뚫는 구멍은?

- 가. 스캘롭      나. 라이트닝 홀      다. 스톱 홀      라. 세레이션

# Section 048 탑재공정

## 1. 탑재공정(선대공정)

조립공정을 거쳐 완성된 블록들을 선대 혹은 건조독에서 하나씩 탑재하여 하나의 선체로 만드는 진수 전까지의 작업을 말한다. 최초의 블록 탑재부터 진수까지 걸리는 시간(선대기간)의 장단으로 조선소의 건조기술을 평가하기도 한다.

탑재공정에는 선대 혹은 건조독이 필수인 시설이며 건조독은 진수작업이 수월할 뿐만 아니라 블록을 수평으로 탑재할 수 있고 블록 탑재를 위한 크레인의 리프트가 짧아 탑재가 신속하며 효과가 배가 클수록 커져 대형 유조선은 대개 건조독에서 건조된다.

또한 블록탑재에는 대형크레인이 필수적이며 중소형 조선소에서는 지브(jib)크레인, 대형 조선소에서는 대형 갠트리 크레인(Goliath)이 대중을 이루고 있다.

### (1) 선체지지

선체를 선대 위에서 건조하기 위해서는 하중을 지지해줄 받침모이 필요하다. 목재 및 콘크리트 블록을 쌓아 만들고, 선체의 격벽이나 거더 등의 하중을 지탱할 수 있는 곳에 배치하며, 선저의 높이는 작업자가 그 밑에서 작업을 할 수 있는 1.2~1.8m의 높이로 한다. 선수미의 경사가 심한 부분에는 지주를 배치한다.

### (2) 탑재순서(조선공작법1강에서 다루었다.)

- ① 층식탑재식
- ② 상형탑재식
- ③ 피라미드식(사다리꼴 탑재식)

탑재의 시작은 대개 기관실의 의장공사를 빨리 착수할 수 있도록 기관실 앞의 펌프룸 선저 블록으로 시작하는 것이 보통이며 공사기간을 단축하기 위해 다점탑재식도 사용된다.

### (3) 폼 세트(form set ; 쉽라이트, ship write)

탑재되는 블록을 블록 상호간의 위치 및 부재간의 이음을 바르게 조정하여 정확한 선형을 들어 나가는 것을 말한다. 폼 세트를 위해 탑재기준선을 설정하는데, 대개 기선, 중앙선, 늑고선, 수선, 바우 앤 버토크 선, 차송선 등이 사용된다.

### (4) 다듬질

폼 세트를 마친 블록은 블록간의 이음새(joint)를 다듬질하여 부재간의 이음을 정확하게 맞춘다. 블록의 끝단에 탑재 여유가 있는 곳은 맞춤 절단을 하며 개선하여 용접조건을 만들고, 이음새는 가용접하여 고정시킨다. 용접 변형이 우려되는 곳에는 구속을 위한 지그를 설치한다.

## (5) 선각용접

다듬질을 마친 블록의 이음새는 용접으로 굳힌다. 선각상의 용접은 작업 환경이 나빠 수동 용접의 경우에는 능률이 낮고 자동화도 어렵다. 하지만 주판이음에는 장면자동용접을, 소부재의 이음면에는  $CO_2$ 용접을 사용하는 노력을 하고 있다.

장면자동용접에는 동배킹법과 엘렉트로 슬래그 용접법이 있다.

## (6) 발판설치

탐재공사 중의 다듬질작업, 용접작업을 위해 발판, 난간 및 여기에 접근할 수 있는 사다리 등을 설치해야하며 설치 및 제거가 용이하도록 설계해야한다. 보통 탐재 전에 미리 부착하여 탐재하는 것이 능률적이다.

## 2. 기출문제

### 2003 조선산업기사

1. 선체 조립용 기준선으로 사용되지 않는 것은?

가. 버톡 라인(buttock line) 나. 프레임 라인(frame line)

다. 워터 라인(water line) **라. 너클 라인(knuckle line)**

### 2004 조선산업기사

2. 선형결정짓기를 위한 기준선으로 부적합한 것은?

가. 종단면선(buttock line)

나. 선체 중심선(center line)

**다. 흘수선(draft line)**

라. 늑골선(frame line)

### 2009 조선기사

3. 다음 중 선대공사에 속하지 않는 작업은?

가. 블록탐재 **나. 블록조립** 다. 선형 결정짓기 라. 선체의 지지와 거치

### 2009 조선기사

4. 블록기준선 설정시 주의사항에 대한 설명으로 틀린 것은?

가. 가능한 한 간단한 수의 치수로 할 것

나. 관계블록들 사이에 공통된 것으로 할 것

**다. 되도록 시임, 버트에 근접하거나 겹쳐지도록 할 것**

라. 기준선이 1개인 경우에는 블록의 중앙을 통하게 할 것

## 2002 조선산업기사, 2006 조선산업기사

5. 선체 블록을 분할할 경우 고려하는 사항이 아닌 것은?

- 가. 크레인의 능력
- 나. 지상조립의 공작 및 회전 조건
- 다. 탑재 시기의 결정
- 라. 선대 공작상의 여건

## 2004 조선기사

6. 지상조립 또는 선대상 조립에서 조립 정밀도를 유지할 목적으로 조립용 기준선이 사용되는데 다음 중 기준선이 될 수 없는 것은?

- 가. 프레임 라인(frame line)
- 나. 워터 라인(water line)
- 다. 버톡 라인(buttock line)
- 라. 다이아거널 라인(diagonal line)

## 2004 조선기사

7. 선형 결정짓기에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 가. 인접 블록과의 결합부를 용접하여 선체를 굳히는 작업이다.
- 나. 탑재가 완료된 블록을 기준선에 맞추어 소정의 위치, 각도, 구배로 배치 연결하는 작업이다.
- 다. 목표로 하는 배의 성능을 얻을 수 있도록 선체의 형상을 설계하는 작업이다.
- 라. 크레인으로 도크 위에 블록을 쌓아나가는 작업이다.

## 2003 조선기사

8. 현대의 대형선 건조에 가장 적합한 선대 형식은?

- 가. 해면측을 개방한 경사 선대
- 나. 세미 드라이 독(semi-dry dock)
- 다. 건조 독(dry dock)
- 라. 싱크로 리프트(syncro lift)

# Section 049 조선재료

## 1. 조선 재료

### (1) 탈산 정도에 따른 강의 분류

- ① 킬드강 : 탈산제로 완전히 탈산시켜 산소를 없앤 강, 비싸다.
- ② 세미 킬드강 : 킬드강과 림드강의 중간
- ③ 림드강 : 탈산제로 완전히 탈산시키지 않고 산소를 약간 남기는 강, 킬드강에 비해 강도의 표면이 부드럽고 생산비율도 좋으며 값이 싸다.

### (2) 슛 프라이머(shop primer)

전처리작업이라고 부르며 본 도장이 아닌 철판에 녹스는 것을 방지하기 위해 shot blasting을 한 후 하는 임시 도장

### (3) shot blasting

제품 생산 후 도장 피막이 잘 형성되도록 표면에 상처를 내어 도장 착상이 잘 되도록 하는 작업

### (4) 러닝스톡(running stock, 정상재고)

기업이 영업이나 생산을 계속 하는데 필요한 운전재고로서 사정에 따라 수정된다.

### (5) 조선용 비금속 재료

- ① FRP(유리섬유강화플라스틱) : 유리섬유와 수지의 복합재료이며 소형 선박의 재료로 주로 사용된다.

## 2. 기출문제

### 2003 조선기사

1. 고장력강으로서 탈산 정도가 가장 높은 강은?

가. 림드강 나. 세미 림드강 **다. 킬드강** 라. 세미 킬드강

### 2004 조선기사

2. 슝 프라이머(shop primer)를 옳게 설명한 것은?

가. 강재를 공장 내에서 처음으로 적절한 크기로 절단하는 작업

나. 강판을 공장내에서 처음으로 프레스 또는 롤러를 이용하여 굽힘가공하는 과정

**다. 건조기간 중의 녹방지를 위해 강판을 shot blasting한 후 강판에 처음으로 실시하는 도장 작업**

라. 작은 철강입자를 고속으로 강판표면에 충돌시켜 강판표면의 녹이나 불순물을 제거하는 작업

### 2004 조선산업기사

3. 조선 재료의 재고량 표시법 중 런닝 스톡이란?

가. 출고되어 사용중인 것과 동일한 재료

나. 출고가 임박한 재료

다. 계획이 변경될 때 대응이 불가능한 재료

**라. 계획이 변경될 때 대응이 가능한 재료**

### 2009 조선기사

4. 조선용 강재의 가공, 조립공정 기간 중에 녹이 스는 것을 방지하기 위한 것으로 도장작업 중 1차 작업에 해당하는 것은?

가. 슝블라스팅(Shot blasting)

나. 샌드블라스팅(Sand blasting)

**다. 슝 프라이밍(Shop Priming)**

라. 모르타르 라이닝(Mortar lining)

### 2009 조선기사

5. 다음 조선용 재료 중 유리섬유와 수지의 복합재료로서 소형선박의 재료로 주로 사용되는 것은?

가. 강 **나. FRP** 다. 목재 라. 알루미늄 합금

### 2003 조선산업기사

6. 일반구조용 압연강재의 기호 SS400에서 숫자 400은?

- 가. 연신율            나. 샤르피 충격값            **다. 최저인장강도**            라. 열팽창계수

### 2002 조선산업기사

7. 선체구조에 고장력강을 사용하는 주요 목적은?

**가. 강도를 높이고 선체중량의 경감을 위하여**

나. 용접성을 향상시키기 위하여

다. 선각공수의 절감을 위하여

라. 응력집중 현상을 방지하기 위하여

### 2006 조선산업기사

74. 탄소강 단강재의 프로펠러 축에 청동제 슬리브를 끼우는 가장 중요한 이유는?

가. 강도를 보강한다.

**나. 해수 부식으로부터 축을 보호한다.**

다. 베어링과의 사이에서 마찰계수를 높인다.

라. 외부의 기계적 손상으로부터 축을 보호한다.

# Section 050 내연기관과 외연기관

## 1. 내연기관과 외연기관

- ① 내연기관 : 디젤기관, 가스터빈, 가솔린기관
- ② 외연기관 : 증기터빈

### (1) 내연기관(디젤, 가스)와 외연기관(증기)의 비교

- ① 내연기관은 기체연료를 실린더 내에서 연소를 시키지만 외연기관은 고체 혹은 액체 연료를 직접적으로 폭발시키는 것이 아니라 상온 상압에서 연소시켜 챔버에 있는 액체(물)을 끓이고 그 증기의 힘으로 물리적 에너지를 만들어 낸다.
- ② 내연기관의 장점은 간접적인 증기의 힘이 아니라 직접적인 폭발로 가동되므로 열효율이 외연기관에 비해 높으며 실린더 내에서의 폭발량의 조정으로 인해 폭발적인 물리적 운동도 만들어 낼 수 있다.
- ③ 이에 비해 외연기관은 간접적인 증기의 힘을 이용하여 에너지 효율은 떨어지지만 내연기관에 비해 상대적으로 큰 챔버 내에서의 에너지 발생이 가능하므로 큰 물리적 에너지를 발생할 수 있다. 그러나 고체 연료를 많이 사용하는 외연기관은 에너지 발생에 비해 많은 연료를 사용하게 되므로 환경적으로도 문제가 많이 발생한다.

### (2) 내연기관의 기본 사이클

- ① 디젤 사이클 : 중저속 디젤 기관의 기본 사이클이며 정압 하에서 연소가 이루어진다.
- ② 오토 사이클 : 가솔린 기관의 기본 사이클이다.
- ③ 사바테 사이클 : 고속 디젤기관의 기본 사이클이며 정적과 정압하에서 이루어지므로 복합 또는 혼합 사이클이라고도 한다. 무기분사식 디젤기관이다.
- ④ 브레이턴 사이클 : 가스터빈의 기본 사이클이다.

### (3) 외연기관의 기본 사이클

- ① 랭킨 사이클 : 증기터빈의 기본 사이클이다.

## 2. 기출문제

### 2004 조선산업기사

#### 1. 내연기관의 기준 사이클이 아닌 것은?

- 가. 오토 사이클      나. 디젤 사이클      다. 사바테 사이클      라. 랭킨 사이클

해설 : 랭킨 사이클은 증기 터빈의 기본 사이클이며 내연기관이 아니다.

## 2004 조선기사

2. 사바테 사이클(sabathe cycle) 기관은?

가. 가솔린 기관 나. 오토 기관 다. 공기분사식 디젤기관 라. 무기분사식 디젤기관

해설 : 공기분사식은 공기압축기가 필요하고 부하속도 조정이 불편해 선박기관 이외에는 거의 사용되지 않는다.

## 2003 조선기사

3. 다음 중 내연기관이 아닌 것은?

가. 가솔린 기관 나. 증기 터빈 다. 디젤 기관 라. 가스 터빈

## 2004 조선기사

4. 외연기관과 비교한 내연기관의 장점 설명으로 틀린 것은?

가. 왕복운동이 없고, 실린더 내의 압력변화가 작으므로 소음과 진동이 작다.

나. 연료를 실린더 내에서 직접 연소키므로 연소실이 작고, 따라서 열효율이 높고 경제적이다.

다. 기관의 시동, 정지 및 속도의 조정이 쉽고, 시동 전후의 열손실이 없다.

라. 보일러와 같은 부속장치가 없으므로 소형 경량으로 할 수 있다.

해설 : 내연기관(디젤)의 피스톤이 왕복운동 장치이다.

## 2002 조선산업기사

5. 공기표준 내연기관 사이클에서 공급 열량, 초압 및 초온과 압축비가 같을 때, 각 이론 열효율의 순서가 높은 것부터 옳게 나열된 것은?

(단, 오토 사이클의 이론 열효율 :  $\eta_{tho}$ , 디젤 사이클의 이론 열효율 :  $\eta_{thd}$ , 사바테 사이클의 이론 열효율 :  $\eta_{ths}$ )

가.  $\eta_{ths} > \eta_{thd} > \eta_{tho}$  나.  $\eta_{tho} > \eta_{ths} > \eta_{thd}$  다.  $\eta_{tho} > \eta_{thd} > \eta_{ths}$  라.  $\eta_{ths} > \eta_{tho} > \eta_{thd}$

## 2006 조선산업기사

6. 내연기관에서 배기가스의 색깔이 백색인 경우 그 이유는?

가. 윤활유가 연소실에 혼입 연소되고 있다.

나. 불완전 연소가 일어나고 있다.

다. 공기가 과다하게 흡입되고 있다.

라. 연료량이 과다하게 흡입되고 있다.

2006 조선산업기사

7. 다음 중 내연기관의 종류에 속하지 않는 것은?

- 가. 가스터빈      나. 가속린기관      다. 디젤기관      라. 증기터빈

2006 조선산업기사

79. 선박기관이 갖추어야 할 조건으로 틀린 것은?

- 가. 구조가 간단하고 조작하기 쉬울 것  
나. 무게나 부피가 가급적 작을 것  
다. 진동이나 소음이 적고 검사 수리가 용이할 것  
라. 연료소비량이 많더라도 고효율을 낼 수 있을 것

# Section 051 디젤기관

## 1. 디젤기관

### (1) 디젤기관의 특징

- ① 압축비가 높아 열효율이 좋다.
- ② 중유와 같은 저질유를 사용할 수 있어 연료 경제성이 가장 우수하다.
- ③ 실린더, 피스톤 및 피스톤 축, 크랭크 축, 커넥팅 로드, 캠 및 캠 축 등으로 구성된다.
- ④ 커넥팅 로드 : 피스톤과 크랭크 축을 연결하고 피스톤의 동력을 크랭크에 전달하는 봉

### (2) 4행정 기관과 2행정 기관

#### ① 4행정 기관

- ㉠ 크랭크 축 2회전마다 한 사이클이 이루어지는 것
- ㉡ 고속기관에 주로 사용
- ㉢ 2행정기관에 비해 엔진 내구성과 연비가 높다.
- ㉣ 2행정기관에 비해 매연과 소음이 적다.

#### ② 2행정 기관

- ㉠ 크랭크 축 1회전마다 한 사이클이 이루어지는 것
- ㉡ 대형 기관 및 저속기관(예초기 등)에 주로 사용
- ㉢ 실린더의 부피가 같은 경우 4행정에 비해 1.2~1.5배의 출력을 얻을 수 있다.
- ㉣ 출력이 동일할 경우 4행정에 비해 부피와 무게가 작다.
- ㉤ 저속 회전이 불안정하고, 저속시 회전력이 낮다.
- ㉥ 토크 변화가 적고 운전이 원활하다.
- ㉦ 4행정기관에 비해 초반 가속력이 높아 초반에 속도가 잘 나온다.

### (3) 과급 디젤기관

- ① 과급기관 : 과급기를 이용해 흡입공기의 압력을 높여 출력을 종래의 2배 이상으로 높인 기관, 압력 증가로 인해 공기 용량과 온도 증가로 연소가 잘 된다.
- ② 과급기 : 기관의 크기가 일정할 때 출력은 그 공기용량에 비례하고 공기용량은 흡입공기의 압력에 비례하여 증가하는데, 흡입공기의 압력을 대기 압력의 2배 이상으로 높여 주는 장치이다.

### (4) 감속장치를 사용하는 이유 : 프로펠러의 회전수를 낮추기 위해(효율 증가)

압축비 = (행정체적+간극체적)/간극체적

행정체적 : 피스톤에 의해 변화하는 부피(피스톤단면적 x 행정의 길이)

간극체적 : 피스톤이 상사점이 있을 때의 연소실 체적

(5) 속도에 따른 분류

	고속기관	중속기관	저속기관
타입	트렁크 피스톤형	트렁크 피스톤 형	크로스-헤드 형
기관 형태	4행정 기관	4행정과 2행정 기관	2행정 기관
RPM	1200~2400rpm	400~1000rpm	120rpm 이하
마력	상한 3500마력	상한 15000마력	5000~60000마력
사용선박	고속선, 선내발전기구동	소형선박	중형 및 대형선박

(6) 연소실 모양에 따른 분류

① 단실식(직접 분사식)

- ㉠ 피스톤 헤드와 실린더 커버에 둘러싸인 연료실에 연사를 분사하는 방식
- ㉡ 대형기관에 주로 사용된다.
- ㉢ 열효율은 좋지만 부실식에 비해 착화성이 높은 고급연료를 필요로 한다.

② 부실식

- ㉠ 주연실과 부실로 나누어져 있으며 연소실에 공기의 난류를 일으켜 연소를 돕는다.
- ㉡ 착화성이 나쁜 연료도 사용가능하다.
- ㉢ 연료실의 구조가 복잡하고 온도의 불균형으로 인한 열변형을 일으키기 쉽다.
- ㉣ 소형기관에 주로 사용된다.

(7) 가솔린 기관과의 차이점

- ① 착화방법 : 디젤기관은 공기를 분사시켜 압축공기와 섞이면서 자연착화하게 하지만 가솔린 기관은 기화기에서 공기와 가솔린을 미리 혼합하여 그 혼합기체를 실린더 속에 흡입하여 압축한 후 축전지에 연결된 점화플러그에서 전기 불꽃을 튀겨 점화한다.
- ② 연료 : 디젤기관은 경유 또는 중유를 사용하지만 가솔린기관은 가솔린을 사용한다.
- ③ 연소과정 : 디젤기관은 디젤 사이클(정압, 중저속) 또는 사바테 사이클(정적+정압, 고속 기관)이지만 가솔린기관은 오토 사이클(정적)로 연소시킨다.
- ④ 가솔린기관은 소형모터보트 등 특수한 경우에서만 2행정이고 나머지는 4행정이다.
- ⑤ 가솔린기관의 열효율은 30%내외이지만 디젤기관은 40~50%로 높다.
- ⑥ 가솔린기관의 대당 출력은 300마력 이하가 보통이다.
- ⑦ 디젤기관의 압축비가 가솔린기관보다 높는데 이것은 공기온도를 높여 착화를 용이하게 하기 위함이다. 또한 압축비가 높으므로 구조가 더 견고해야한다.

(8) 노킹(knocking, 불완전 연소) 방지대책

- ① 실린더 연소실의 압축비를 증가시킨다.
- ② 흡기 온도를 높게 한다.
- ③ 세탄가(착화성) 높은 연료를 사용한다.
- ④ 흡입 공기에 와류를 주고 분사개시에 연료 분사량을 감소시킨다.
- ⑤ 정확한 분사시기 조정과 엔진의 rpm을 낮춘다.

## 2. 기출문제

### 2002 조선산업기사

1. 4행정 기관과 비교한 2행정 기관의 특징 설명으로 잘못된 것은?

- 가. 실린더 부피가 같은 경우 1.2~1.5배의 출력을 얻을 수 있다.
- 나. 배기작용이 충분하고 고속기관에 적합하다.
- 다. 같은 출력의 4행정 기관보다 부피의 무게가 작다.
- 라. 저속 회전이 불안정하고, 저속시 회전력이 낮다.

### 2002 조선산업기사

2. 직접 분사식 디젤 기관의 설명 중 틀린 것은?

- 가. 비교적 폭발압력이 낮다.
- 나. 연소실 표면적이 가장 작다.
- 다. 구조가 간단하다.
- 라. 분사압력은 200kg/cm<sup>2</sup> 이상이다.

### 2002 조선산업기사

3. 과급(過給) 디젤 기관의 이점이라고 볼 수 없는 것은?

- 가. 기관출력을 50% 정도 증가시킬 수 있다.
- 나. 기관 설치면적이 커져서 안정도가 있다.
- 다. 마력당의 중량을 30~40% 감소시킨다.
- 라. 연소가 잘 된다.

해설 : 압력증가(연소용이) -> 동일면적에서의 출력증가 -> 마력당 중량 감소

### 2002 조선산업기사

4. 디젤 기관의 노킹(knocking) 방지법으로 옳은 것은?

- 가. 회전을 빠르게 한다.
- 나. 압축비를 높인다.
- 다. 흡입온도를 낮춘다.
- 라. 발화점이 높은 연료를 사용한다.

해설 : 회전(rpm)은 낮춰야하고 흡입온도는 높여야하며 발화점이 아닌 착화성 높은 연료를 사용해야 한다.

### 2009 조선기사

5. 다음 중 일반적으로 열효율이 가장 좋은 기관은?

- 가. 디젤 기관
- 나. 가스터빈 기관
- 다. 가솔린 기관
- 라. 증기터빈 기관

### 2009 조선기사

6. 다음 중 선박용 4 행정 디젤기관의 주요부품이 아닌 것은?

- 가. 분연펌프
- 나. 크랭크축
- 다. 커넥팅 로드
- 라. 실린더 라이너

### 2004 조선산업기사

7. 크랭크 축의 비틀림 진동이 축 자체의 고유 자연진동수와 일치하면 공진을 일으켜 진동이 더 커지게 되는데, 이 때의 기관 회전수를 무엇이라 하는가?

- 가. 저속도 회전수
- 나. 과속도 회전수
- 다. 공진 회전수
- 라. 위험 회전수

### 2004 조선산업기사

8. 가솔린기관에 비하여 디젤기관은 압축비가 높는데 그 이유는?

- 가. 공기의 점성계수를 낮게하여 연료분사가 용이하게 하려고
- 나. 연소실내의 잔류가스를 잘 배출하여 충전효율을 높이려고
- 다. 공기 온도를 높여 연료의 착화를 용이하게 하기 위하여
- 라. 각 실린더마다 고른 출력을 얻기 위하여

해설 : 공기 압축은 온도를 증가시킨다.

### 2004 조선산업기사

9. 다음 중 디젤기관의 고정부분이 아닌 것은?

가. 피스톤          나. 실린더          다. 베드          라. 프레임

해설 : 피스톤은 실린더 내부를 왕복 운동하는 장치이다.

### 2003 조선기사

10. 4행정 기관과 비교하여 2행정 기관의 장점인 것은?

- 가. 열효율이 높다.
- 나. 용적효율이 높다.
- 다. 토크 변화가 적고 운전이 원활하다.
- 라. 운전범위가 넓고 운전의 유연성도 크다.

### 2003 조선기사

11. 선박기관의 디레이팅(derating)의 설명으로 옳은 것은?

- 가. 기관의 노후화로 기관 출력이 저하되는 현상이다.
- 나. 선박의 운항시 자동으로 기관 하중상태가 줄어드는 현상이다.
- 다. 기관-프로펠러의 맞춤(matching)점을 낮게 잡는 설계방식이다.
- 라. 본래 기관의 출력보다 낮은 값에서 정격출력을 설정하는 것이다.

### 2003 조선산업기사

12. 2행정과 4행정 디젤기관을 비교한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 2행정 기관은 동일 크기의 4행정 기관에 비하여 출력이 크다.
- 나. 4행정 기관은 720도 회전에 흡입, 압축, 팽창, 배기과정이 완결된다.
- 다. 2행정 기관은 4행정 기관에 비하여 토크 변화가 적어 운전이 원활하다.
- 라. 4행정 기관은 2행정 기관에 비하여 시동은 쉬우나 저속운전이 불안정하다.

해설 : 라 는 2행정기관에 대한 설명이다.

### 2003 조선산업기사

13. 디젤기관과 가솔린기관의 특징을 비교한 것 중 틀린 것은?

- 가. 디젤기관은 가솔린기관에 비하여 압축비가 낮다.
- 나. 가솔린기관은 디젤기관에 비하여 연료소비율이 높고 열효율이 낮다.
- 다. 디젤기관은 가솔린기관에 비하여 구조를 견고하게 할 필요가 있다.
- 라. 디젤기관의 연료는 경유 또는 중유를 사용한다.

### 2003 조선산업기사

14. 디젤기관에 사용하는 피스톤링의 고착 원인이 아닌 것은?

가. 실린더 냉각수 순환량이 과다할 때

나. 링과 링 홈의 간격이 부적당할 때

다. 링의 장력이 부족하였을 때

라. 불순물이 많은 연료를 사용하였을 때

해설 : 피스톤링은 피스톤과 실린더 벽 사이에 공기가 통하지 않게 피스톤 둘레의 홈에 끼우는 링을 말한다.

### 2003 조선기사

15. 기관의 크랭크실 내부에 과압을 완화시키기 위해 부착하는 것은?

가. vent    나. bypass valve    다. breather    라. relief valve

### 2003 조선기사

16. 어떤 디젤기관에서 행정이 0.9m인 피스톤이 600rpm으로 회전하고 있다. 이 기관의 피스톤 속도는?

가. 9m/s    나. 18m/s    다. 36m/s    라. 54m/s

해설 : 행정이 0.9m라는 말은 한바퀴 회전할 때 1.8m를 움직인다는 뜻이다. 따라서 600rpm은 초당 10회전이라는 말이므로 18m/s가 된다.

### 2003 조선산업기사

17. 4사이클 디젤 기관에서 행정이 420mm, 매분 폭발회수가 180회일 때 피스톤의 평균 속도는?

가. 4.04m/s    나. 2.52m/s    다. 6.04m/s    라. 5.04m/s

해설 : 초당 폭발회수가 3회이며 4행정기관에서는 한 사이클당 축이 2바퀴 회전하므로 6바퀴회전하는 것이 된다. 따라서 행정의 길이가 0.42m이므로  $0.42 \times 2 \times 6 = 5.04\text{m/s}$

### 2009 조선기사

18. 2단 감속장치에서 1단 감속비는 8.66, 2단 감속비는 6.36이라면 원동기의 회전수가 6000rpm일 때 프로펠러의 회전수는 약 몇 rpm인가?

가. 93    나. 109    다. 692    라. 4406

해설 :  $6000/8.66/6.36=109$

### 2002 조선산업기사

19. 디젤기관용 감속장치에 관한 설명으로 옳은 것은?

가. 디젤기관에는 역전용 감속장치는 쓰이지 않는다.

나. 디젤기관용 감속 치차장치는 토크 변동이 작다.

다. 축 발전기에는 중속 치차장치를 이용한다.

라. 디젤기관용 유성치차장치는 솔라형을 가장 많이 채용한다.

### 2002 조선산업기사

20. 플라이 휠(fly wheel)의 작용으로 옳은 것은?

가. 엔진의 회전을 빠르게

나. 엔진의 회전을 원활히

다. 캠 축의 회전을 위해

라. 감속기 설치를 위해

해설 : 플라이 휠은 회전속도를 고르게 하기위해 설치된 바퀴이다.

### 2004 조선산업기사

21. 어떤 디젤기관의 간극체적이 40cc, 행정체적이 200cc일 때 이 기관의 압축비는?

가. 6            나. 7            다. 8            라. 9

해설 :  $(200+40)/40=6$

### 2003 조선산업기사

22. 디젤기관을 추진기관으로 사용하는 선박에서 감속/역전장치를 두는 이유가 아닌 것은?

가. 클러치를 떼고 추진기관을 하역펌프 등의 원동기로 사용하기 위하여

나. 기관이 자기역전식이 아닌 경우 프로펠러의 회전 방향을 바꾸기 위하여

다. 프로펠러의 회전속도를 낮추고 직경을 크게 하여 프로펠러의 효율을 높이기 위하여

라. 추진축의 직경을 가늘게 할 수 있어 제작비를 낮추고 중량을 감소시키기 위하여

### 2006 조선산업기사

23. 디젤기관에 사용되는 윤활유의 기능이 아닌 것은?

가. 윤활작용

나. 냉각작용

다. 응력증가작용

라. 기밀작용

2006 조선산업기사

24. 선박 디젤기관에서 플라이 휠의 주된 역할은?

- 가. 고속회전을 가능하게 한다.
- 나. 기관 회전 속도를 감속시킨다.
- 다. 회전력을 균일하게 한다.
- 라. 크랭크 축을 역전시킨다.

2006 조선산업기사

25. 행정이 0.6m인 피스톤이 900rpm으로 운전하고 있는 기관이 있다. 이 기관의 피스톤 속도는?

- 가. 9m/s
- 나. 18m/s
- 다. 36m/s
- 라. 54m/s

해설 : 900rpm은 초당 15회 회전이므로 1회 회전당  $0.6\text{m} \times 2 = 1.2\text{m}$  이동. 따라서  $15 \times 1.2 = 18\text{m/s}$

# Section 052 증기기관

## 1. 증기기관

### (1) 필수 구성요소

- ① 보일러 : 포화증기를 발생시킨 후 그것을 과열기에서 과열하여 과열증기로 만들며 이 생(生)증기가 터빈에서 팽창하여 회전동력을 발생시킨다.
  - 과열도 : 과열증기의 온도와 동 증기의 압력에 대한 포화온도의 차
  - 강제역풍기 : 연소용 공기 공급
  - 분연펌프 : 연료 공급
  - 그 외 절유기, 공기가열기, 디슈퍼 히터, 그을음흡출기 등
- ㉠ 원통보일러
  - 과열증기 생성이 어렵고 증기발생에 소요되는 시간이 길다.
  - 보일러 압력을 높이기 어렵다.
  - 효율이 안 좋다.
- ㉡ 수관보일러
  - 최근에는 원통보일러를 대신해 선박에서는 대부분 수관보일러를 사용한다.
  - 원통보일러의 단점을 모두 개선한 것이다.
- ② 복수기 : 터빈으로부터 배출되는 사(死)증기를 냉각수로 냉각시켜 물로 상바꿈을 시킨다.
  - 냉각수순환펌프 : 사증기의 냉각
  - 공기추출기 : 진공도(높을수록 사이클의 열효율과 출력이 좋음) 유지
  - 복수펌프 : 복수를 뽑아냄
- ③ 급수펌프 : 상바꿈된 물을 보일러 압력까지 가압해 보일러로 보낸다.
- ④ 증기터빈 : 노즐, 날개열, 터빈 디스크, 로터로 구성된다.

### (2) 사이클

- ① 단순사이클 : 보일러 -> 복수기 -> 급수펌프 -> 보일러로 이어지는 사이클
- ② 재생사이클 : 열효율을 높이기 위해 급수를 미리 가열하여 보일러로 보내는 것
- ③ 재열사이클 : 터빈을 고압 터빈과 저압 터빈으로 구분 설치하여 고압 터빈으로부터 배출되는 증기를 다시 가열하여 저압터빈으로 보내는 것

## 2. 기출문제

### 2009 조선기사

1. 증기터빈 복수기 내부의 진공도를 높이면 얻을 수 있는 장점에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

- 가. 압력이 낮으므로 기밀을 유지하기 쉽다.
- 나. 냉각수 온도가 높아져 열손실이 줄어든다.
- 다. 열효율이 높아지고 출력을 증가시킬 수 있다.
- 라. 급수 온도를 낮출 수 있어 열효율이 높아진다.

### 2004 조선기사

2. 선박용 원통보일러와 비교한 수관식 보일러의 특징 설명으로 잘못된 것은?

- 가. 보일러 효율이 높다.
- 나. 보일러 급수의 수질이 문제되지 않는다.
- 다. 증기 발생에 소요되는 시간이 짧다.
- 라. 고온, 고압의 증기를 발생시킬 수 있다.

## Section 053 가스터빈

### 1. 가스 터빈

작동원리는 증기터빈과 동일하나(사이클도 동일) 작동유체가 공기라는 점에서 다르다. 공기를 필요한 압력비만큼 압축하고 난 뒤 연소실을 통과시키는데 이때 연료를 분사하여 연소시키며 공기는 그 연소열을 받아 가열된다. 이 고온·고압 공기를 터빈으로 보내게 되는데 그 다음 과정은 증기터빈과 동일하다.

#### (1) 기본 구성요소

- ① 공기압축기
- ② 연소실
- ③ 가스터빈

#### (2) 출력비

터빈이 발생한 동력 중 일부는 공기압축기 구동용으로 소비되는데, 총출력에 대한 프로펠러 구동에 이용되는 실출력의 비를 말하며 현재 0.5미만이다.

#### (3) 특징

- ① 증기터빈과 마찬가지로 작동유체의 압력과 온도가 높을수록 효율이 좋다.
- ② 회전속도가 빠를수록 효율이 좋다.
- ③ 감속장치가 반드시 필요하다.
- ④ 후진은 후진판을 마련할 수 없으므로 전적으로 축계의 역전장치 또는 가변·가역피치 프로펠러에 의존한다.
- ⑤ 주로 소형경량화와 신속한 기동성이 요구되는 고속정, 수중익선, 활주선 등에 보급된다.
- ⑥ 연비는 디젤기관과 증기터빈의 중간 정도이며 열효율은 22~38% 정도이다.

## 2. 기출문제

### 2003 조선산업기사

1. 가스터빈을 구성하는 3대 요소가 아닌 것은?

가. 터빈      나. 발전기      다. 압축기      라. 연소실

### 2004 조선기사

2. 가스 터빈기관에서 재생사이클의 설명으로 옳은 것은?

- 가. 고압 터빈으로부터 나오는 가스를 다시 가열하여 사용한다.  
나. 터빈으로부터의 배기가스를 이용하여 압축기로부터 압축공기를 예열한다.  
다. 압축을 2단압축 이상으로 하여 각 단 사이에 중간 냉각을 시켜 효율을 증진시킨다.  
라. 다단압축을 하고 그 중간에 재열기와 중간냉각기를 설치하여 열효율을 증가시킨다.

해설 : 가 는 재열사이클을 의미한다.

### 2009 조선기사

3. 선박용 추진기관 중 가스터빈의 장점이 아닌 것은?

- 가. 환경 친화적이다.  
나. 소음이 낮고 진동이 적다.  
다. 무게당 부피에 비해 출력이 높다.  
라. 동일출력의 디젤기관보다 연료유 소비량이 적다.

해설 : 연비는 디젤보다는 낮고 증기보다는 높다.

### 2002 조선산업기사

4. 가스터빈 기관의 효율을 높이기 위한 것이 아닌 것은?

가. 중간 냉각기    나. 재열기    다. 과급기    라. 재생기

해설 : 과급기는 디젤 기관에 필요한 장치이다.

# Section 054 프로펠러

## 1. 프로펠러

### (1) 프로펠러의 기본 용어

- ① 지름(diameter,  $D$ ) : 프로펠러가 1회전했을 때 날개 끝이 그리는 원의 지름.
- ② 피치(pitch,  $P$ ) : 프로펠러가 1회전했을 때 각 반지름 위치에서 날개단면이 축방향으로 전진하는 거리. 평균피치는  $0.7R$  위치에서 측정한다.
- ③ 피치각(pitch angle,  $\phi$ ) : 반지름  $r$  위치에서의 피치를 각으로 표시한다.
- ④ 프로펠러 기준선(propeller reference line) : 프로펠러 형상의 기준이 되는 직선으로 축심과 직각.
- ⑤ 제작기준선(generator line) : 프로펠러 제작의 기준이 되는 선으로 보통 직선이 된다.
- ⑥ 레이크(rake,  $X_G$ ) : 각 반지름 위치에서 프로펠러기준선으로부터 제작기준선까지의 축방향 직선거리. 하류방향을 양으로 잡는다.
- ⑦ 프로펠러 날개단면(propeller blade section) : 프로펠러의 날개를 프로펠러 축심과 동심축을 갖는 반지름  $r$ 의 원통으로 잘랐을 때, 각 반지름 위치에서의 단면.
- ⑧ 앞날(leading edge), 뒷날(trailing edge) : 프로펠러가 전진할 때 물을 먼저 가르는 날개 단면의 끝을 앞날, 그 반대쪽 끝을 뒷날이라고 한다.
- ⑨ 날개윤곽(blade outline) : 날개의 앞날과 뒷날을 날개 끝에서 연결하여 나타낸다. 그 종류로 투영윤곽과 확장윤곽이 있다.
- ⑩ 날개단면 기준점(blade section reference point) : 날개단면의 기준이 되는 점.
- ⑪ 스큐(skew,  $\theta_m$ ) : 날개단면 기준점이 프로펠러 기준선과 프로펠러 축심으로 이루어지는 평면과 이루는 각. 축방향 정면도에서 크기가 나타난다.
- ⑫ 허브(hub) : 프로펠러 날개를 프로펠러 축에 연결해주는 부분으로 허브의 최대지름을 허브지름이라고 한다.
- ⑬ 날개두께(blade thickness) : 날개단면의 두께.

### (2) 저항시험

선체와 프로펠러(추진기)의 종합적인 추진성을 알기위한 시험으로 저항시험과 유사하나 프로펠러가 장착되어있고 프로펠러에 걸리는 추력과 토크 및 회전수를 추가로 측정하는 점이 다르다. 실선과 모형선 사이의 마찰계수의 차이를 보정해 주기 위하여 이에 해당하는 예인력으로 모형선을 예인해주면서 수행한다.

### (3) 프로펠러 단독시험

선각과 프로펠러의 상호작용 해석을 위해 균일 유장에서 작용하는 프로펠러의 단독 추진성을 알아야하며 이를 위해 예인수조에서 단독시험을 실시한다.

#### (4) 프로펠러의 효율

- ① 전진효율  $J_A = \frac{V}{nD}$ ,  $V$  : 전진속도,  $n$  : 회전수
- ② 추력효율  $K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$ ,  $T$  : 프로펠러에 걸리는 추력
- ③ 토크효율  $K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$ ,  $Q$  : 프로펠러에 걸리는 토크
- ④ 프로펠러효율  $\eta_0 = \frac{TV}{2\pi Qn} = \frac{J_A K_T}{2\pi K_Q}$
- ⑤ 선각효율  $\eta_H = \frac{1-t}{1-w}$ ,  $w$  : 반류계수,  $t$  : 추력감소계수

#### (5) 프로펠러의 효율을 높일 수 있는 방법

- ① 프로펠러의 직경을 크게 한다.
- ② 프로펠러의 회전수를 낮게 한다.
- ③ 프로펠러의 하중계수를 적게 설계한다.

#### (6) 가변 피치 프로펠러

- ① 피치를 자유롭게 바꿀 수 있고 일정 토크 운전이 가능하다.
- ② 주기관으로부터 발전기 운전이 가능하다.
- ③ 출력과 회전수를 임의로 택할 수 있다.
- ④ 기관을 일정한 방향과 일정한 속도로 회전시켜 놓고 선교에서의 조작만으로 전진·후진·저속·정지 등으로 자유롭게 운항할 수 있다.
- ⑤ 원격조정이 가능하고 주기의 역전(역전장치)이 필요 없다.
- ⑥ 정선 때 기관 정지가 필요 없고 연료 소비가 절감된다.
- ⑦ 단시간에 최고속 도달이 가능하고 기관의 수명이 연장된다.
- ⑧ 쇄빙선·연락선 등에 사용된다.

#### (7) 반류

선체가 프로펠러에 미치는 영향을 말하며 프로펠러가 선체에 미치는 영향은 추력감소(thrust deduction)이라고 한다.

- ① 퍼텐셜반류 : 점성이 없고 자유표면이 없는 이상 유체 속을 이중선체가 진행할 때 선체 주위의 유체가 교란되어 배의 속도와 다른 성분이 발생하는 것을 말한다.
- ② 마찰반류 : 선체 주위의 물의 점성 때문에 생기는 반류로서 배의 길이, 침수표면적, 외판면의 거칠기 등에 영향을 받는다. 선미 근처에서 특히 값이 크다.
- ③ 파반류 : 선미파 중의 유체입자의 운동에 의한 반류로서 배의 폭방향의 변화는 적지만 깊이방향의 변화가 크다.

(8) 슬립

나사면이 고체 중에서 한 바퀴 회전할 때 전진할 거리와 유체 중에서 한 바퀴 회전할 때 전진하는 거리의 차이라고 할 수 있다.

슬립  $m = P - \frac{60V}{N}$ ,  $P$  : 피치(m),  $V$  : 전진속도,  $N$  : 분당 회전수

슬립비 =  $1 - \frac{60V}{PN}$

슬립의 증가 원인 : 배의 저항 증가, 피치의 증가, 회전수 증가 등

① 겉보기 슬립비 : 배에 장착된 프로펠러의 경우 배의 속도  $V_s$ 와 프로펠러 위치에서의 속도  $V_a$ 가 같지 않아 배의 속도  $V_s$ 를 사용하여 슬립비를 정의하며 이 것을 겉보기 슬립비라고 한다.

겉보기 슬립비 =  $1 - \frac{60V_s}{PN}$

② 참슬립비 : 프로펠러 단독시험의 경우 물에 상대적인 프로펠러의 전진속도  $V_a$ 를 알 수

있어 참슬립비가 다음과 같이 정의된다. 참슬립비 =  $1 - \frac{60V_a}{PN}$

③ 유효슬립비 : 프로펠러 깃의 유효피치를 사용해 정의한 것.

유효슬립비 =  $1 - \frac{60V_a}{(\text{유효피치})N}$

2. 기출문제

2004 조선산업기사

1. 스크류 프로펠러가 1회전 하는 동안 전진하는 거리는?

가. 피치(pitch) 나. 경사(rake) 다. 스크류 백(skew back) 라. 슬립(slip)

2003 조선산업기사, 2006 조선산업기사

2. 선박의 프로펠러 효율과 관계가 없는 것은?

가. 날개 면적 나. 프로펠러 직경 다. 피치(pitch) 라. 엔진의 종류

2003 조선산업기사

3. 선체와 프로펠러의 종합적인 추진 성능을 알기위한 시험은?

가. 풍동시험 나. 저항시험 다. 마찰시험 라. 경사시험

**2003 조선기사**

4. 선박의 프로펠러에 전달되는 마력(전달마력)의 크기에 영향을 미치는 인자가 아닌 것은?

- 가. 추력 베어링(thrust bearing)의 종류
- 나. 주기관과 프로펠러축의 연결 방법
- 다. 기관의 종류와 설치 위치
- 라. 프로펠러의 형상

**2009 조선기사**

5. 다음 중 프로펠러의 효율을 높일 수 있는 방법이 아닌 것은?

- 가. 프로펠러의 직경을 크게 한다.
- 나. 프로펠러의 회전수를 낮게 한다.
- 다. 프로펠러를 지나는 유량을 적게 한다.
- 라. 프로펠러의 하중계수>Loading coefficient)를 적게 설계한다.

**2004 조선산업기사**

6. 가변 피치 프로펠러의 특징이 아닌 것은?

- 가. 클러치 및 역전장치가 있어야 한다.
- 나. 선교에서 원격 조정이 가능하다.
- 다. 주기관과 프로펠러 축의 회전 방향은 항상 일정하다.
- 라. 주기관으로부터 발전기 운전이 가능하다.

**2003 조선산업기사**

7. 선박에 설비된 추진장치로서 가변피치 프로펠러의 장점이 아닌 것은?

- 가. 주기를 역전할 필요가 없다.
- 나. 일정 토크 운전이 가능하다.
- 다. 추진 효율이 좋다.
- 라. 회전수를 임의로 택할 수가 있다.

**2004 조선기사**

8. 프로펠러 추진기의 반경을 R로 할 때, 추진기의 평균 피치는 어느 위치에서 측정하는가?

- 가. 0.5R      나. 0.7R      다. 0.8R      라. 0.9R

### 2003 조선기사

9. 반류계수를  $w$ , 추력감소계수를  $t$ 라 할 때 선각효율을 옳게 나타낸 식은?

- 가.  $(1-t)/w$     나.  $(1-w)/(1-t)$     다.  $w/(1-t)$     라.  $(1-t)/(1-w)$

### 2003 조선기사

10. 선체와 추진기의 종합적인 효율을 알기 위한 수조 시험의 종류는?

- 가. 저항시험    나. 추진기 단독시험    다. 저항시험    라. 추진기 선후시험

해설 : 저항시험은 모형선의 전저항을, 단독시험은 추진기 성능만을 측정하는 시험이다.

### 2003 조선기사

11. 피치가 0.8m이고, 매분 회전수가 300rpm일 때 프로펠러의 속력은 약 몇 노트(knot)인가?

- 가. 6.8knot    나. 7.8knot    다. 8.5knot    라. 10.5knot

해설 : 피치는 프로펠러가 1회전하였을 때 날개단면이 축방향으로 전진하는 거리이다. 매분 회전수가 300rpm이면 초당 5바퀴 회전하므로 초당  $0.8 \times 5 = 4\text{m}$ 를 전진하게 된다. 따라서  $4\text{m/s} = 7.8\text{knot}$ 가 된다. ( $1\text{knot}=0.5144\text{m/s}$ )

### 2003 조선기사

12. 프로펠러 추진기 슬립의 증가 원인이 아닌 것은?

- 가. 배의 저항 증가  
나. 추진기의 회전수 증가  
다. 추진기의 피치 증가  
라. 추진기의 날개면적 증가

### 2004 조선산업기사

13. 프로펠러 추진기의 참슬립(real slip)에 대한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 프로펠러의 속도를 배의 속도로 나눈 값이다.  
나. 참슬립은 겉보기 슬립보다 항상 크다.  
다. 참슬립은 음(-)의 값이 되지 않는다.  
라. 프로펠러의 회전수가 증가하면 참슬립은 증가한다.

# Section 055 캐비테이션

## 1. 공동현상(cavitation)

주위 압력이 증기압이하로 강하되어 액체의 상태에서 기체의 상태로 바뀌는 현상. 날개단면의 형상과 밀접한 관계가 있으며 어느 부분에 공동이 발생하는가는 받음각(angle of attack,  $\alpha$ )의 크기 및 부호에 의해 결정된다.

프로펠러의 날개는 2차원 날개단면이 연속 분포되어 있으므로 각각의 날개단면은 날개가 축심 주위로 회전함에 따라 받음각의 크기가 연속적으로 변하는 유입유동을 맞게 되며 날개 단면의 위치에 따라 서로 다른 공동현상이 발생한다.

### (1) 얇은 층 공동현상(sheet cavitation)

그리 크지 않은 받음각으로 작동하는 날개의 뒷면에 생성되는 음의 압력 때문에 날개 앞날에서부터 시작하여 얇은 층 형상으로 발생하는 공동현상으로 실선 프로펠러에서 가장 많이 관찰되며 대체로 안정적이나 공동체적의 변화가 선체진동의 원인이 된다.

### (2) 기포형 공동현상(bubble cavitation)

고속 프로펠러의 경우 날개의 두께가 비교적 두껍고 받음각이 작은 경우 날개의 최대두께 위치 근처에서 기포 형태의 공동현상이 발생하며 매우 불안정하기 때문에 프로펠러의 성능 저하와 날개표면의 침식 등 손상의 원인이 되며 반드시 설계를 수정해야한다.

### (3) 앞면 공동현상(face cavitation)

받음각이 비교적 작거나 음의 값을 가질 때, 날개 앞면 앞날 근처에서 발생하는 것으로 허브 가까이의 날개단면에서 많이 관찰되며 날개가 6시 방향 위치에 있을 때 날개 끝부분에서 발생할 수 있다. 매우 불안정하여 날개 침식의 주요 원인이 된다.

## 2. 기출문제

### 2006 조선산업기사

1. 추진기 날개 면적당의 추력이 너무 크거나, 추진기가 고속 회전할 때 발생하는 현상은?

가. 공동현상 나. 피팅현상 다. 시효현상 라. 피로현상

### 2003 조선기사

2. 선박의 프로펠러 추진기가 부식(corrosion)되거나 침식(erosion)되는 경우가 아닌 것은?

가. 산 또는 알칼리에 의하여 화학적으로 손상을 받는 경우  
나. 주위 금속과 이온화 경향의 차이로 전위차가 발생하는 경우  
다. 추진기에 공동현상(cavitation)이 발생하는 경우  
라. 추진기의 피치가 작고 저속으로 회전하는 경우

### 2002 조선산업기사

3. 프로펠러의 캐비테이션 원인이 아닌 것은?

- 가. 형상이 불량할 때
- 나. 날개 끝이 얇을 때
- 다. 회전속도가 임계치 이상일 때
- 라. 수면 가까이서 회전할 때

### 2003 조선산업기사

4. 추진기 날개의 공동현상에 의한 침식(erosion)은?

- 가. 공동현상의 발생 초기에 일어난다.
- 나. 공동현상의 소멸 시 일어난다.
- 다. 공동현상의 발생 도중에 일어난다.
- 라. 공동현상과 침식은 관계가 없다.

### 2004 조선기사

5. 프로펠러의 캐비테이션(cavitation) 발생을 방지하기 위한 설계 방법으로 부적합한 것은?

- 가. 프로펠러 날개의 단위 면적당 추력을 되도록 작게 한다.
- 나. 불균일 반류의 영향을 되도록 받지 않도록 추진기와 외판, 선미골재 등과의 간격을 충분히 둔다.
- 다. 지름이 큰 프로펠러를 사용하고, 프로펠러 피치각을 크게 하여 회전수를 감소시킨다.
- 라. 프로펠러 날개 끝에 가까운 부분은 에어로포일형으로 하고, 0.8R부터 날개 뿌리까지는 원호형으로 한다.

# Section 056 동력 및 출력

## 1. 동력

(1) 프로펠러에 전달되는 동력의 크기에 영향을 주는 요인

- ① 축계조립의 정밀도 ② 축계(베어링, 선미관 등)에서의 마찰손실
- ③ 기관의 종류 ④ 설치 위치(선체 중앙 또는 선미) ⑤ 추력베어링의 종류
- ⑥ 주기축과 프로펠러축의 연결방법(직렬 또는 감속기어) ⑦ 중간 베어링의 수
- ⑧ 배의 재화상태 등

(2) 지시동력(indicated power,  $P_I$ )

(3) 제동동력(brake power,  $P_B$ )

내연기관에서 기관 바로 밖의 크랭크축 끝에서 계측한 동력으로 기관마찰로 인한 마찰 손실 동력을 빼고 남은 값이다. 효율은

$$\eta_M = \frac{P_B}{P_I} \text{로 나타내며 기계적 효율이라고 한다.}$$

(4) 축동력(shaft power,  $P_s$ )

증기터빈과 같은 회전기관은 기구상 측정이 불가능하여 중간축에 전달되는 토크를 토션미터로 계측하여 산출한다.

(5) 전달동력(delivered power,  $P_D$ )

실제로 프로펠러에 전달되는 동력이며 프로펠러 설계상의 기준 동력이다. 기관이 발생한 동력으로부터 축계에서의 마찰손실 및 기타 손실동력을 뺀 값이다. 효율은

$$\eta_T = \frac{P_D}{P_B} \text{ or } \frac{P_D}{P_S} \text{로 나타내며 전달효율이라고 한다.}$$

(6) 추력동력(thrust power,  $P_T$ )

배를 추진시키는 동력으로 그 효율은

$$\eta_B = \frac{P_T}{P_D} \text{ (} P_D \text{ : 전달마력) 으로 나타내며 선후효율(behind efficiency, } \eta_B \text{)이라 한다.}$$

(7) 유효동력(effective power,  $P_E$ )

물과 공기의 저항을 이기고 배를 전진시키는데 필요한 동력이며 효율은

$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{1-t}{1-w}$ 로 나타내고 선각효율(hull efficiency,  $\eta_H$ )이라 한다. 선체와 프로펠러간의 상호 간섭의 척도를 보여준다. 1축선이 2축선보다 큰 값을 가지며 경제적이다. (큰 반류계수 때문)

(8) 전체 추진효율(propulsive efficiency,  $\eta_P$ )

$$\eta_P = \frac{P_E}{P_I} = \eta_H \cdot \eta_B \cdot \eta_T \cdot \eta_M$$

$$* \text{ 추진기관의 전체추진효율} = \frac{P_E}{P_B} = \frac{EHP}{BHP}$$

(9) 마력 단위 환산  $1kN = 1.36PS$ ,  $1PS = 0.75kN$

## 2. 출력

(1) 상용출력

항해속력을 얻기 위하여 상용하는 출력으로 기관의 효율 및 보수상의 경제출력이기도 하다. 선박의 사용기간 중 대부분 이 출력으로 주행하며 항속거리, 연료소비량 등의 계산 기준이 되며 주기관은 이 출력에서 최소 연료소비율을 갖도록 설계되며 항해 동력과 같아야 한다.

- 항해동력 : 정해진 선속에 대해 시운전 상태에서의 소요동력, 즉 배의 물과 접하는 표면이 깨끗하고, 해상도 평온하며, 조류 및 파도 등의 영향을 받지 않는 상태에서 항해 속력을 확보하는데 필요한 동력에, 상술한 여러 가지 영향을 고려한 해상여유를 가산한 동력을 뜻하며 해상여유는 보통 마력수로 15~20%를 고려한다.

(2) 연속최대출력(MCR, MCO)

주기관의 설계 조건상 24시간 이상의 연속운전에서 낼 수 있는 안전 최대 출력을 말한다. 기관 자체의 설계, 축계설계, 프로펠러의 강도 설계 등의 기준 동력이며 기관 매매 등에 사용되는 공칭속력이기도 하다.

프로펠러 설계점으로 이전에는 상용출력을 취하였으나 최근에는 연속최대출력을 취하는 경향이 짙어졌다. 상용출력의 연속최대출력에 대한 비율은 대형 디젤기관이 90%, 중형 디젤기관과 증기터빈은 80~90%정도이다.

(3) 과부하출력

24시간 연속운전 중 2시간 동안 연속적으로 운전 가능한 과부하출력을 기준으로 한다.

### 3. 기출문제

#### 2004 조선기사

1. 다음 중에서 추진효율은?

가.  $\frac{\text{유효마력}}{\text{전달마력}}$  나.  $\frac{\text{제동마력}}{\text{축마력}}$  다.  $\frac{\text{도시마력}}{\text{제동마력}}$  라.  $\frac{\text{유효마력}}{\text{축마력}}$

#### 2002 조선산업기사

2. 내연기관선의 추진효율을 옳게 나타낸 식은?

(단, EHP : 유효마력, THP : 추력마력, DHP : 전달마력, BHP : 제동마력)

가. EHP/THP 나. EHP/DHP 다. THP/BHP 라. EHP/BHP

#### 2004 조선산업기사

3. 내연기관에서 기관 바로 밖의 크랭크축 끝에서 계측한 동력은?

가. 축동력 나. 지시동력 다. 제동동력 라. 전달동력

#### 2003 조선산업기사

4. 선박 추진기관의 동력이 프로펠러로 전달되는 과정에서 각 단계별로 정의되는 다음의 동력 중 가장 큰 것은?

가. 유효마력 나. 전달마력 다. 축마력 라. 지시마력

#### 2006 조선산업기사

5. 어느 배를 예인선으로 끌때 속력이 4.5 m/s 이고, 예인 로프의 수평장력이 3,250 kgf 이었다면 유효마력(EHP)은?

가. 135 PS 나. 175 PS 다. 195 PS 라. 150 PS

해설 :  $P = T \cdot V = 3250kgf \cdot 4.5m/s = 9.8 \cdot 3250N \cdot 4.5m/s$  이며  $1PS = 735N \cdot m/s$  이다. 따라서 답은 195 PS가 된다.

2004 조선산업기사

6. 어떤 배를 5m/sec의 속력으로 예인하였을 때 예인줄저항이 1500kgf였다면 그 속력에서의 유효마력은?

- 가. 100PS    나. 200PS    다. 300PS    라. 400PS

해설 : 1PS = 75kgf 이므로  $T \cdot v = 1500/75 \cdot 5 = 100 PS$

2009 조선기사

7. 다음 중 추진기관의 전추진효율을 옳게 나타낸 것은?  
(단, EHP : 유효마력, BHP : 제동마력, THP : 추력마력)

- 가. BHP/EHP    나. EHP/BHP    다. BHP/THP    라. EHP/THP

2009 조선기사

8. 증기 터빈과 같은 회전 기계의 동력을 나타낼 때 사용하는 것으로, 추진 원동기와 추진기 사이의 중간축에 전달되는 회전력을 측정하여 구하는 동력은?

- 가. 축 동력    나. 제동 동력    다. 지시 동력    라. 전달 동력

해설 : 축동력은 증기 터빈 같은 회전 기계에서는 기구상 측정이 불가능하여 중간 축의 토크를 토션미터로 구한다.

2004 조선산업기사

9. 어떤 디젤기관의 기계효율이 80%이며, 이때의 지시마력이 100PS였다면 마찰손실 마력은?

- 가. 30PS    나. 20PS    다. 10PS    라. 5PS

2004 조선산업기사

10. 암(arm) 길이가 0.75m인 전기동력계로 디젤기관의 동력을 측정하였다. 회전수 400 rpm에서 하중이 30kgf일 경우 제동마력은?

- 가. 7.88PS    나. 8.92PS    다. 12.56PS    라. 15.72PS

해설 :  $L = T \cdot w = r \cdot F \cdot \frac{2\pi N}{60}$  이므로  $L = 9.236kN = 12.56PS$

#### 2004 조선산업기사

11. 주기(main engine)와 프로펠러의 연결 시스템에 있어서 축계의 선수쪽 끝단에서 측정되는 마력은?

- 가. I.H.P(도시마력)    나. B.H.P(제동마력)    다. D.H.P(전달마력)    라. E.H.P(유효마력)

#### 2004 조선기사

12. 어떤 선박의 유효마력이 240PS일 때 주기관의 실제마력은?  
(단, 추진기 효율은 60%, 기계효율은 85%이다.)

- 가. 400PS    나. 471PS    다. 282PS    라. 785PS

해설 : 실제마력은 IHP를 구하라는 것이다. 먼저 추진기 효율이 60%이므로 BHP는 400PS가 되며 기계효율이 85%이므로  $BHP/IHP=0.85$ 에서  $BHP=471PS$ 가 된다.

#### 2002 조선산업기사

13. 선박기관을의 연속최대출력에 대한 설명으로 틀린 것은?

- 가. 보통 MCR로 약기한다.  
나. 주기관의 설계조건상 24시간 이상의 연속 운전에서 낼 수 있는 안전최대출력을 뜻한다.  
다. 2시간 동안 연속적으로 운전 가능한 과부하 출력을 말한다.  
라. 축계설계, 프로펠러의 강도 계산에 쓰이는 기준 마력이다.

#### 2006 조선산업기사

77. 어떤 내연기관의 지시마력(IHP)이 100PS, 제동마력(BHP)이 72PS일 때 기계효율은?

- 가. 50%    나. 56%    다. 66%    라. 72%

# Section 057 축계장치

## 1. 축계장치

### (1) 축계의 기능

- ① 주기의 회전동력을 프로펠러에 전달
- ② 프로펠러를 지지
- ③ 프로펠러가 발생하는 추력을 선체에 전달
- ④ 주기관 또는 프로펠러는 기진력을 발생시키므로 축계 자체의 진동이 작아야하며 선체 진동을 유발해서는 안 된다.
- ⑤ 고속조선이나 갑작스런 역전에 잘 견딜 것
- ⑥ 주기관의 운전 범위 내에서 그 운동 응답이 신속하고 신뢰성이 있을 것

### (2) 축계의 수

1, 2, 3, 4축선이 있으며 선박의 85% 이상은 1축선을 사용한다. 외축선에 비해 추진효율이 좋고 추진장치의 장비가 간단하기 때문이다.

### (3) 구성 요소

- ① 추력축 : 크랭크축의 전후 또는 감속장치의 저속 주기어축의 전후에 설치하며 추력칼라를 가졌고, 이것이 선체에 붙여진 추력베어링의 추력전달면에 접하고 있다. 프로펠러로부터 전해져 오는 추력은 여기서 받아 선체에 전달되며 배를 추진시킨다.
- ② 추력베어링 : 형태에 따라 상자형, 미첼형, 말굽형이 있다.
- ③ 중간축 : 추력축과 프로펠러축을 연결하는 축으로 한 토막은 4~7m이며 플랜지 커플링에 의해 연결된다.
- ④ 중간베어링 : 중간축에 1~2개를 설치해 중량을 지지한다.
- ⑤ 프로펠러축
- ⑥ 선미축 : 프로펠러축을 2분할한 것 중 중간축과 연결되는 앞쪽의 것
- ⑦ 선미베어링 : 프로펠러축의 앞부분 또는 최후부 중간축의 최후단에 장착된다.
- ⑧ 선미관 : 프로펠러축이 선체를 관통하는 부분에 장착되고 해수가 선내로 침입하는 것을 방지하며 프로펠러축에 대한 베어링 역할을 한다.

## 2. 추진기 및 펌프

- ① 기어 펌프 : 윤활유나 증유 등 비교적 점도가 큰 유체를 이송하는데 적합
- ② 분사 추진기 : 유체를 분사 노즐을 통해 흐르게 하여 압력에너지를 속도에너지로 바뀌는 때의 반작용으로 추력을 발생시킴
- ③ 이덕터(Eductor) : 압축공기 또는 압력수의 분사에 의하여 일어나는 진공작용을 이용하여 빌지(bilge) 등을 흡입, 배출하는 기구

### 3. 기출문제

#### 2009 조선기사

1. 추력 베어링(thrust bearing)의 구조에 따른 종류가 아닌 것은?

가. 상자형(Box type)

나. 미첼형(Mitchell type)

다. 말굽형(Horse shoe type)

라. 호이드 슈나이더형(Voith Schneider type)

#### 2003 조선기사

2. 선박 기관 및 추진축계의 축심 투시와 가장 관련이 없는 것은?

가. 선미관

나. 타두재

다. 주기대

라. 축계 전길이

#### 2004 조선기사

3. 선박 추진 축계장치의 축 종류에 속하지 않는 것은?

가. 크랭크축

나. 추력축

다. 중간축

라. 추진축

#### 2004 조선기사

4. 프로펠러 회전 중에 축계와 선체간에 전위차가 생기는 이유는?

가. 축계의 회전에너지에 의하여

나. 축계 슬리브 등의 동합금과 선체의 이온화 경향 때문에

다. 선내 발전시설로부터의 누전 때문에

라. 선체와 해수간의 마찰에 의하여

#### 2003 조선산업기사

5. 윤활유나 중유 등 비교적 점도가 큰 유체를 이송하는데 가장 적합한 펌프는?

가. 기어 펌프

나. 로브 펌프

다. 스크류 펌프

라. 원심 펌프

#### 2002 조선산업기사

6. 보슈식 연료분사 펌프에 관한 설명으로 틀린 것은?

가. 토출밸브에는 감압 피스톤이 달려 있다.

나. 플런저와 배럴의 간극은 플런저 지름의 0.3/1,000~0.4/1,000배이다.

다. 보슈식 연료분사 펌프는 플런저 크기로 구분하며 종류는 4가지 뿐이다.

라. 플런저 재료는 특수 공구강, 크롬강 등을 사용한다.

2006 조선산업기사

7. 선박의 추진장치의 기본 구성요소가 아닌 것은?

- 가. 열기관            나. 축계            **다. 열교환장치**            라. 추진기

2006 조선산업기사

8. 주기에서 발생한 동력이 추진기(프로펠러)에 전달되는 과정을 옳게 나열한 것은?

- 가. 주기 → 감속기 → 추진축 → 추진기**
- 나. 주기 → 추진축 → 감속기 → 추진기
- 다. 주기 → 감속기 → 추진기 → 추진축
- 라. 주기 → 추진기 → 추진축 → 감속기

2006 조선산업기사

9. 선박 추진기 보스의 중공부에 유지(油脂)를 채우는 주된 이유는?

- 가. 진동의 감소            나. 명음 방지            **다. 부식 방지**            라. 윤활

2009 조선기사

10. 다음 중 압축공기 또는 압력수의 분사에 의하여 일어나는 진공작용을 이용하여 빌지(Bilge) 등을 흡입, 배출하는 기구는?

- 가. 이덕터(Eductor)**
- 나. 진공펌프(Vacuum pump)
- 다. 오리피스(Orifice)
- 라. 흡입펌프(Suction pump)

해설

- ① 진공펌프(Vacuum pump) : 대기압 이하의 압력에서 기체를 흡입하여 대기압에서 배출하는 데 사용되는 압축기
- ② 오리피스(Orifice) : 유체가 흐르는 관로 속에 설치된 조리개 기구. 유량 측정에 사용된다.