Naval Architecture & Ocean Engineering

[2009][01]

Innovative Ship Design
-Design Equation-

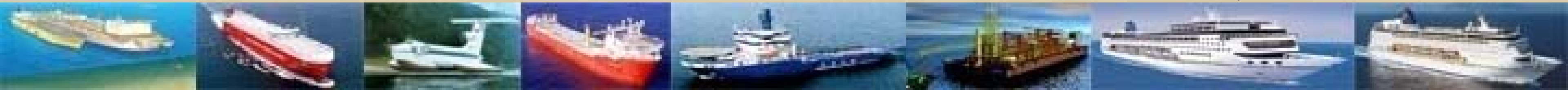
March 2009

Prof. Kyu-Yeul Lee

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering,
Seoul National University of College of Engineering

Seoul National Univ.

@SDAL
Advanced Ship Design Automation Lab.
http://asdal.snu.ac.kr



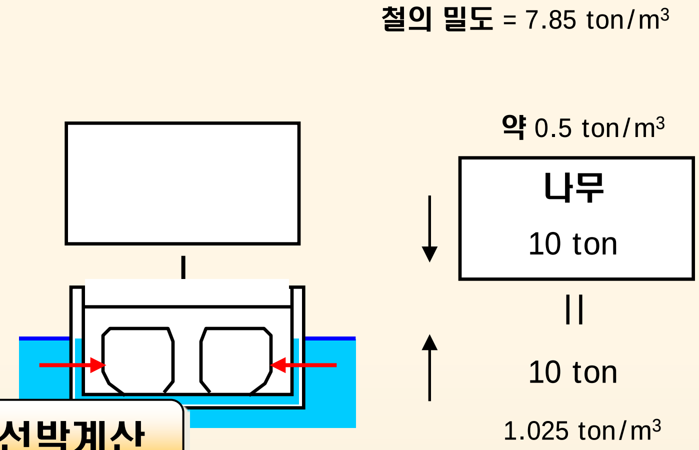
선박의 정의 :
바다에서 화물과 승객을 싣고, 떠서, 움직이는 대형 구조물

☑ 선박의 특성 : 적재성, 부양성, 이동성, 안전성

☑ 선박의 설계 과정

선주 요구사항	*선박의 종류, 건조 척수, 선급, 국적, 화물의 종류, 재화중량, 선체 치수의 외적 제한의 유무, 항해 속력, 납기 등*
견적설계	*선주와 협의용. 주요 요목 결정, 개략적인 요목표, 건조사양서 작성, 개략 일반배치도 작성*
기본설계	*선주와 초기 합의부터 상세설계 전까지. 건조사양서, 일반배치도, 기관실 배치도 등의 작성 및 선가 조정*
상세설계	*건조 선박에 대한 실제 공사용 도면 작성 일반배치도 검토, 작업지시서, 선박계산, 선각구조 상세설계*
생산설계	*건조선의 공작에 모든 부재의 가공을 위한 부품도 및 조립도 작성*

선박설계에서 고려해야 할 점



■ 선박의 기본적인 요건

1) **물에 떠서 안정하게 있어야 한다** 선박안정론

→ 선박의 무게 = 밀어낸 물의 무게* (평형상태)

2) **짐을 실을 수 있어야 한다** 선박구획배치설계/선박계산

→ 최대한 많은 짐을 실을 수 있도록
내부가 비어있어야 함

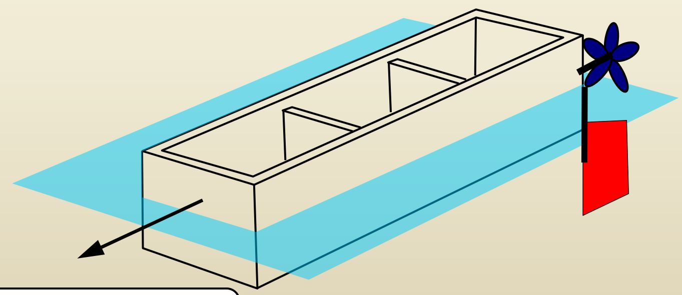
선박형상설계,
선박유체역학,
추진기설계,
선박운항제어론

3) **원하는 목적지로 빨리 갈 수 있어야 하고, 조종이 가능해야 한다**

→ 형상: 물의 저항이 작은 형태(ex. 유선형)

→ 추진기관: 디젤 엔진, 나선형 프로펠러

→ 조타기관: Steering gear, Rudder



4) **튼튼한 그릇으로서의 역할을 해야 한다**

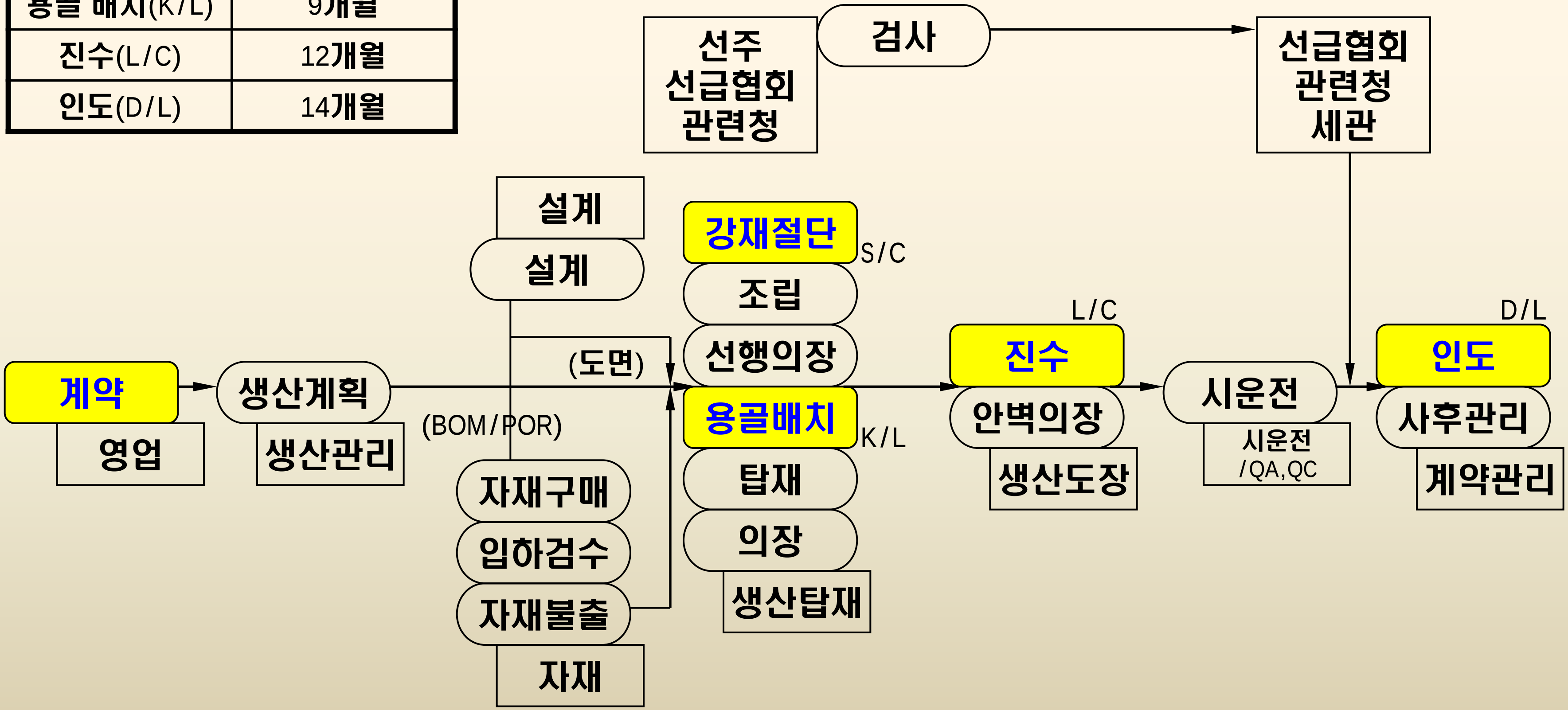
→ 철판(약 10~30 mm두께)과
보강재를 용접한 구조물

선박구조역학/구조설계.해석

* 아르키메데스의 원리: 유체 속에 있는 물체(부유체)가 받는 부력의 크기는 그 물체가 밀어낸 유체의 무게와 같고 그 방향은 중력과 반대 방향이다

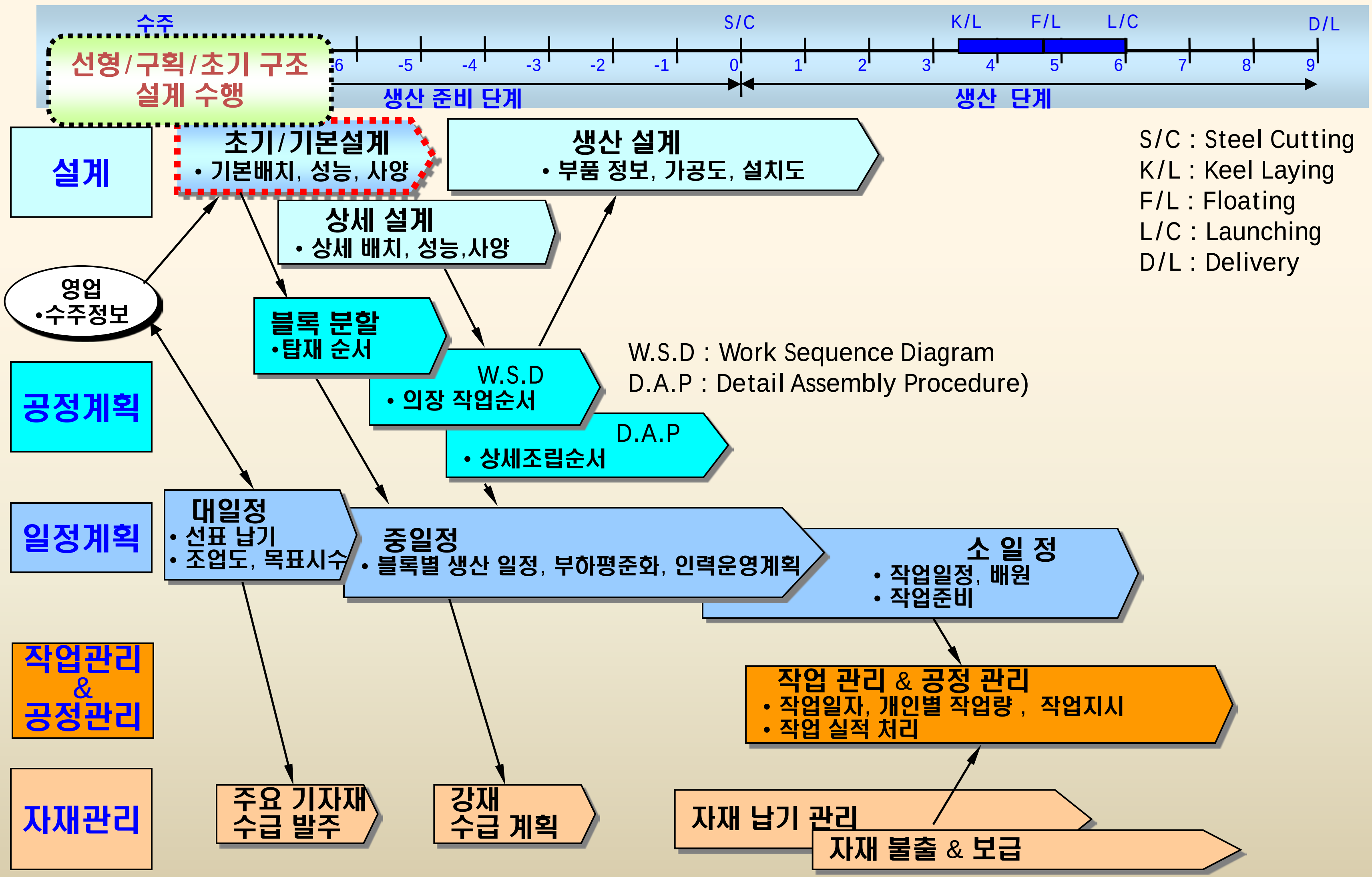
조선의 주요 과정(선박의 건조 과정)

Event	시점(예)
계약	기준일
강재 절단(S/C)	6개월
용골 배치(K/L)	9개월
진수(L/C)	12개월
인도(D/L)	14개월

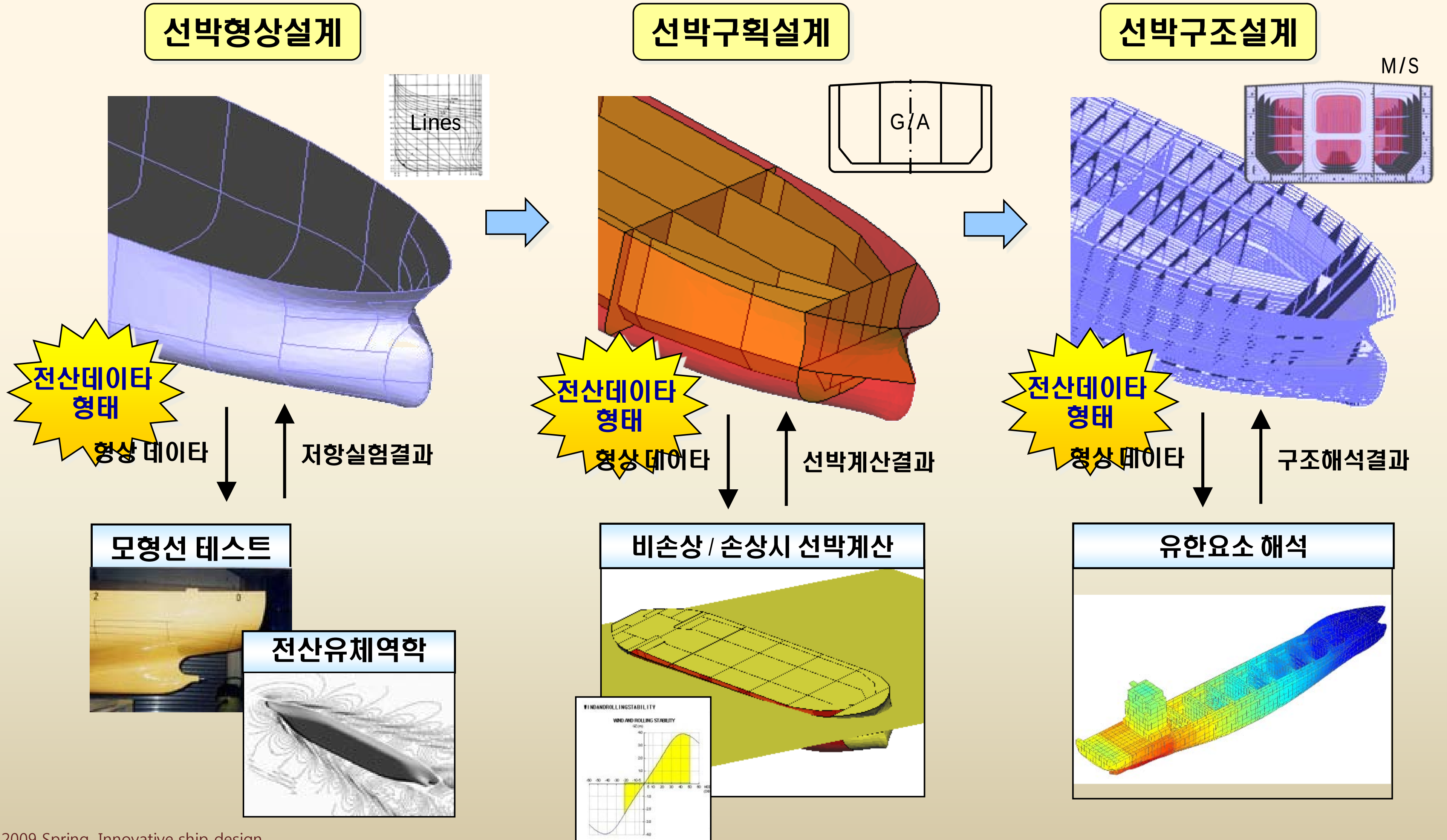


* S/C: Steel Cutting, K/L: Keel Laying, L/C: Launching, D/L: Delivery
* BOM: Bill Of Material, POR: Purchase Order Request, QA: Quality Assurance, QC: Quality Control

선박 건조 전체 업무 흐름도



선박의 기본설계 과정



선박형상설계
Lines
선박구획설계
G/A
선박구조설계
M/S
전산데이터 형태
형상 데이타
저항실험결과
전산데이타 형태
형상 데이타
선박계산결과
전산데이타 형태
형상 데이타
구조해석결과
모형선 테스트
전산유체역학
비손상 / 손상시 선박계산
유한요소 해석

선박 주요치수 결정 및 기본 성능 추정(선박의 "개념 설계")

1. 선주 요구 조건(owner's requirements)
2. 유사 실적선 자료 조사
3. 관련 rules & regulation 검토
4. 주요 치수 선정
   - 배수량 추정 -
5. 경하 중량(lightweight) 추정
6. 저항 및 마력 추정/주기관 선정
   - 저항 성능 추정, 프로펠러 주요 치수 선정 -
7. 화물창 용적(cargo capacity) 추정
8. 건현(freeboard) 계산
9. 복원 성능(stability) 추정
10. 개략 일반 배치(Sketch G/A 작성)
11. 개략 선형 및 선박 제 계산
12. 견적 물량 및 견적가 산정
13. Technical documents 작성

(강의요약) 1주 1,2강 : 주요치수와 각종 성능과의 관계

1. 선주 요구 조건(owner's requirements)
2. 유사 실적선 자료 조사
3. 관련 rules & regulation 검토
4. 주요 치수 선정
   - 배수량 추정 -
5. 경하 중량(lightweight) 추정
6. 저항 및 마력 추정/주기관 선정
   - 저항 성능 추정, 프로펠러 주요 치수 선정 -
7. 화물창 용적(cargo capacity) 추정
8. 건현(freeboard) 계산
9. 복원 성능(stability) 추정
10. 개략 일반 배치(Sketch G/A 작성)
11. 개략 선형 및 선박 제 계산
12. 견적 물량 및 견적가 산정
13. Technical documents 작성

- 선종
- 재화중량
- 화물창 용적
- 속력
- 항로(운하 및 수로 제한)
- 최대 흘수
- DFOC(Daily Fuel Oil Consumption)

1.선주의 요구조건

☑ 선주 요구 조건

- 선종(Ship's Type)

- 재화중량(Deadweight)

- 화물용적(Cargo Capacity)
  - Cargo Capacity: Cargo Hold Volume/ Container in Hold & on Deck/ Car Deck Area
  - Water Ballast Capacity

- 속력(Speed)
  - Service Speed at _Draft with _Sea Margin,_ Engine Power & _RPM , DFOC (Daily Fuel Oil Consumption)

- 운하 및 수로 제한(Canal Limitations): Panama, Suez, Kiel, St. Lawrence Seaway, Port limitations

- 최대 흘수(Max. Draft)

- 연료 소모율 (DFOC : Daily Fuel Oil Consumption) : Related with ship's economy.

- Special Requirements
  - Ice Class, Air Draft, Bow/Stern Thruster, Special Rudder, Twin Skeg

---

- 인도 납기일 (Delivery Day)
  - Delivery day, with (   )$ delay penalty per day
  - Abt. 14 months from contract

- 선가 (The Price of a ship)
  - Material & Equipment Cost + Construction Cost + Additional Cost + Margin

(강의요약) 1주 1,2강 : 주요치수와 각종 성능과의 관계

1	선주 요구 조건(owner's requirements)
2	유사 실적선 자료 조사
3	관련 rules & regulation 검토
4	주요 치수 선정 - 배수량 추정 -
5	경하 중량(lightweight) 추정
6	저항 및 마력 추정/주기관 선정 - 저항 성능 추정, 프로펠러 주요 치수 선정 -
7	화물창 용적(cargo capacity) 추정
8	건현(freeboard) 계산
9	복원 성능(stability) 추정
10	개략 일반 배치(Sketch G/A 작성)
11	개략 선형 및 선박 제 계산
12	견적 물량 및 견적가 산정
13	Technical documents 작성

2. 유사 실적선 자료 조사

☑ 유사 실적선 자료 조사

- “선박 설계는 무에서 유를 창조하는 혁신적인 업무라기보다는 실적 자료를 토대로 한 개선이다”

- 유사 실적선 자료 조사
  - 주요 치수: L/B, L/D, B/D, D/T, C_B
  - 경하중량(Lightweight), Deadweight/Displacement
  - Capacity: Cargo, Ballast, F.O
  - Speed, Power, Propeller, etc.

- 관련 선급, 모형 시험소, 선주 및 유관 기관과의 업무 협의 및 자료 입수

(강의요약) 1주 1,2강 : 주요치수와 각종 성능과의 관계

1. 선주 요구 조건(owner's requirements)
2. 유사 실적선 자료 조사
3. 관련 rules & regulation 검토
4. 주요 치수 선정
   - 배수량 추정 -
5. 경하 중량(lightweight) 추정
6. 저항 및 마력 추정/주기관 선정
   - 저항 성능 추정, 프로펠러 주요 치수 선정 -
7. 화물창 용적(cargo capacity) 추정
8. 건현(freeboard) 계산
9. 복원 성능(stability) 추정
10. 개략 일반 배치(Sketch G/A 작성)
11. 개략 선형 및 선박 제 계산
12. 견적 물량 및 견적가 산정
13. Technical documents 작성

3. 관련 Rules & Regulation 검토

- International Maritime Organizations(IMO)
- International Labour Organizations (ILO)
- Regional Organizations (EU,…)
- Administrations (Flag, Port)
- Classification Societies
- International Standard Organizations (ISO)

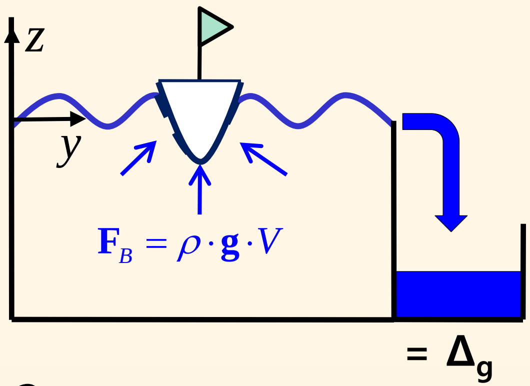
Rules and Regulations – IMO Instruments

- ☑ Conventions
  - SOLAS / MARPOL / ICLL / COLREG / ITC / AFS / BWM ……
- ☑ Protocols
  - MARPOL Protocol 1997 / ICLL Protocol 1988
- ☑ Codes
  - ISM / LSA / IBC / IMDG / IGC / BCH / BC / GC ……
- ☑ Resolutions
  - Assembly / MSC / MEPC
- ☑ Circulars
  - MSC / MEPC / Sub-committees ……

(강의요약) 1주 1,2강 : 주요치수와 각종 성능과의 관계

1. 선주 요구 조건 (owner's requirements)
2. 유사 실적선 자료 조사
3. 관련 rules & regulation 검토
4. 주요 치수 선정 - 배수량 추정 -
5. 경하 중량(lightweight) 추정
6. 저항 및 마력 추정/주기관 선정 -저항 성능 추정 -프로펠러 주요 치수 선정 -
7. 화물창 용적(cargo capacity) 추정
8. 건현(freeboard) 계산
9. 복원 성능(stability) 추정
10. 개략 일반 배치(Sketch G/A 작성)
11. 개략 선형 및 선박 제 계산
12. 견적 물량 및 견적가 산정
13. Technical documents 작성

부력과 중량



① Archimedes' Principle

: 유체 중에 있는 물체는 그 물체에 의해 배제된 유체의 중량만큼 부력을 받는다.

$\mathbf{F}_B$: 선박이 받는 부력
V : 배제된 부피
(displacement volume: m³)
ρ : 유체의 밀도
$\mathbf{g}$: 중력가속도
Δ_g : 배제된 유체의 중량
(displacement : ton)

$$\mathbf{F}_B = \rho \mathbf{g} V$$

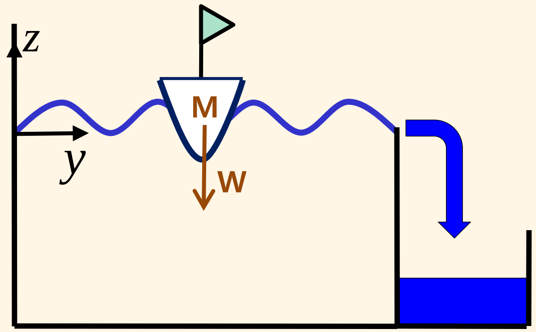
과제 :
2학년 유체역학을 기반으로 하여 증명할 것*

이때 , $\rho \mathbf{g} V$를 "배수량(displacement)" 라고 하고 다음과 같이 표현한다.

$$\rho \mathbf{g} V = \Delta_g$$

따라서 부력 = 배수량이다.

$$\therefore \mathbf{F}_B = \Delta_g$$



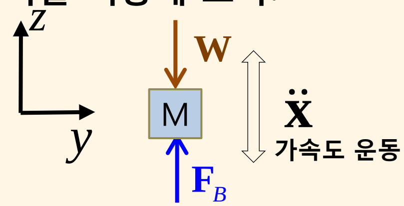
② 선박의 질량을 M 이라 하면, 선박의 중량 $\mathbf{W}$는

$$\mathbf{W} = -M\mathbf{g}$$

M : 선박의 전체 질량
$\mathbf{g}$: 중력 가속도

선박의 중량은 아래 방향으로 작용하는데, Z축의양의 방향을 위쪽 방향으로 잡았기 때문에, 앞에 (–)부호가 붙어 있다.

③ 자유 물체에 작용하는 힘 성분을 표시 하여 Newton 제 2 법칙을 적용해 보자.



$$M\ddot{\mathbf{x}} = \sum \mathbf{F}$$
$$= \rho \mathbf{g} V - M\mathbf{g}$$

④ 부력과 중량의 평형 상태
"선박의 전체 중량 = 선박이 받는 부력"

만약 선박이 운동을 하지 않으면,

$\ddot{\mathbf{x}} = 0$ 이므로

$$0 = \rho \mathbf{g} V - M\mathbf{g}$$

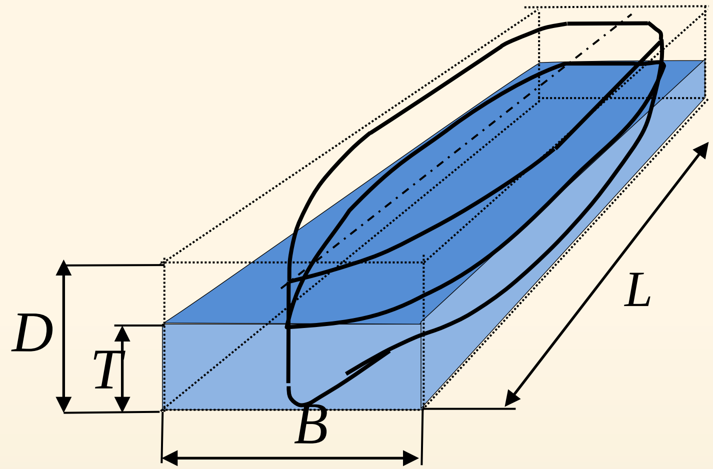
$$\therefore \rho \mathbf{g} V = M\mathbf{g}$$
$$\Delta_g = M\mathbf{g}$$

부력 중량의 평형상태

☑ 부력= 중량

$$\boxed{\rho \mathbf{g} V = M\mathbf{g} \quad \cdots (1)}$$

(L.H.S)



① 직육면체 모양의 선체가 물속에 잠겨 있으면,
물 속에 잠긴 부피는 다음과 같다.

$$V_{rect} = L \cdot B \cdot T$$

② 저항 성능이 좋도록 직육면체의 가장자리를
잘라 내면, 잘라낸 후의 부피와 직육면체의 부피
와의 비를 C_B라 한다.

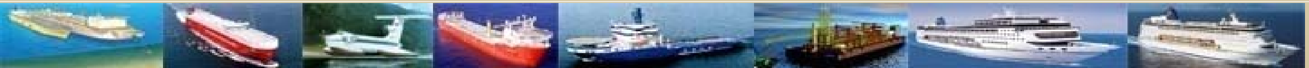
$$\frac{V}{L \cdot B \cdot T} = C_B \qquad \therefore V = L \cdot B \cdot T \cdot C_B$$

따라서 식 (1)의 왼쪽 항은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho \mathbf{g} V = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot \mathbf{g} \cdot (1+\alpha),$$

ρ : 유체의 밀도로
해수의 경우 1.025 Mg/m^3

α : 부가 배수량을 나타내는 계수로서 프로펠러,타,
축등의 moulded line 바깥의 배수량.
약 0.02~0.025의 값을 가진다.



부력 중량의 평형상태

☑ 부력= 중량

$$\boxed{\rho \mathbf{g} V = M\mathbf{g} \quad \cdots (1)}$$

(L.H.S)

$$\rho \mathbf{g} V = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot \mathbf{g} \cdot (1+\alpha)$$

(R.H.S)

선박의 무게를 선박 자체의 무게(LWT)와 선박이 최대로 실을 수 있는 화물의 무게(DWT)로 나누어 표현해 보자.

$$M\mathbf{g} = LWT + DWT$$

*실제 DWT는 Payload(화물의 무게)+ Fuel oil + Diesel oil+ Fresh water +etc. 로 구성되어 있다.

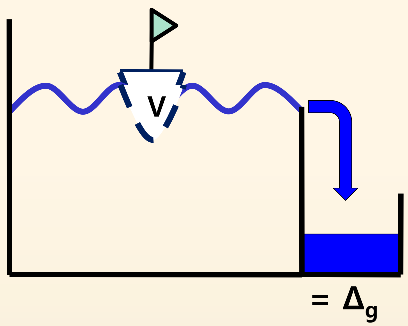
(L.H.S)=(R.H.S)

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = LWT + DWT \quad \cdots (2)$$

LWT,DWT의 단위는?

(참고)배수량의 단위

배수량(displacement) : 물체가 유체속에 잠겨 있을 때 물체가 배제한 유체의 중량 [ton]



$$\Delta_g \equiv \rho \mathbf{g} V,$$

V : 배제된 부피 (displacement volume: m^3)
ρ : 유체의 밀도
$\mathbf{g}$: 중력가속도
Δ_g : 배제된 유체의 중량 (displacement : ton)

$$\boxed{L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha)} = LWT + DWT \quad \cdots (2)$$

$$\Downarrow$$

$$\rho V = \frac{\Delta_g}{\mathbf{g}}$$

좌변은 배수량을 중력가속도 g로 나누어 준 것과 같다. 이 값을 Δ라고 정의 하자. $\Delta \equiv \frac{\Delta_g}{\mathbf{g}}$

이때 Δ 는 배제된 유체의 질량을 나타내고 [Mg](mega gram)의 단위를 가진다.

우변의 LWT와 DWT도 좌변과 같이 질량을 나타낸다.

조선분야에서는 일반적으로 Δ를 배수량 이라고 한다.

Δ 는 실제로는 질량의 단위이지만, 조선에서는 무게인 것처럼 취급한다.
따라서 실제 힘을 계산할 때는 Δ에 중력가속도 g를 곱해서 계산해야 한다.

선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

☑ **부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>**

$$\boxed{L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = DWT_{given} + LWT \quad \cdots (2)}$$

☑ **요구 화물창 용적** V_{H_req} **<선주 요구사항>**

화물창 용적은 L,B,D,C_B의 함수라 하자.

$$\boxed{V_{H\_req} = f(L, B, D, C_B) \cdots (3)}$$

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT

미지수 5(L,B,D,C_B)개, 식 2개 ((2),(3)) 의 비선형 부정방정식

⇨ 미지수 5개중 2개를 가정하면 비선형 방정식을 풀 수 있다.

먼저 식 (2)의 우변이 주어져야 방정식을 풀 수 있으므로 LWT부터 가정한다.

LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (1) DWT와 Displacement 비율로 추정

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$\boxed{L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = DWT_{given} + LWT \cdots (2)}$$

요구 화물창 용적 <선주 요구사항>

$$\boxed{V_{H\_req} = f(L, B, D, C_B) \cdots (3)}$$

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT

LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

방법 ① : LWT를 기준선의 배수량으로부터 추정

기준선의 DWT와 Displacement 비율을 설계선에도 같이 적용하여 설계선의 배수량을 추정한다.

$$\frac{DWT_B}{\Delta_B} = \frac{DWT_{given}}{\Delta} \rightarrow \Delta = \frac{\Delta_B}{DWT_B} \cdot DWT_{given}$$

아래첨자B : 기준선(Basis Ship)

$$\boxed{\therefore L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = \Delta \quad \cdots (2.1)}$$

미지수 4개(L, B, D, C_B), 식 2개((2.1),(3)) 의 비선형 부정방정식

⇨ **무수히 많은 해가 있다. 따라서 그 해를 선정하는 기준이 있어야 한다.**

⇨ **"목적함수"**

목적 함수의 예: 건조비(Building cost)

목적 함수(주요 치수 선정 기준)

$$Building\ Cost = C_{PS} \cdot C_s \cdot L^{1.6}(B+D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot L \cdot B + C_{PM} \cdot C_{ma} \cdot NMCR$$
$$= C_{PS} \cdot C_s \cdot L^{1.6}(B+D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot L \cdot B$$
$$+ C_{PM} \cdot C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3$$

C_{PS} : 선박 강재비 관련 계수

C_{PO} : 의장부 비용 관련 계수

C_{PM} : 기관부 비용 관련 계수

← **실적선 data로부터 추정한 값**

선박 주요 치수 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (2) LWT는 L·B·D에 비례한다고 가정

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = DWT_{given} + LWT \ \cdots (2)$$

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT

요구 화물창 용적 <선주 요구사항>

$$V_{H\_req} = f(L, B, D, C_B) \cdots (3)$$

LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

방법 ②: 경하중량(LWT)이 L·B·D(선체의 Volume)에 비례한다고 가정

$$LWT \propto L \cdot B \cdot D$$

$LWT = C_{LWT} L \cdot B \cdot D$, C_{LWT}는 기준선으로부터 구함

$$\boxed{\therefore L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = DWT_{given} + C_{LWT} \cdot L \cdot B \cdot D \cdots (2.2)}$$

따라서 미지수 4개 (L, B, D, C_B), 식 2개 ((2.2),(3))의 비선형 부정방정식 이다.

⇨ 최적화 문제 ⇨ 목적 함수를 최소화 (ex.건조비 최소화)하는 문제로 풀 수 있다.

선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (3) LWT를 선각중량 W_s, 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$\boxed{L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = DWT_{given} + LWT \cdots (2)}$$

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT

요구 화물창 용적 <선주 요구사항>

$$\boxed{V_{H\_req} = f(L, B, D, C_B) \cdots (3)}$$

LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

<u>방법 ③: 경하중량(LWT)을 선각중량W_s , 의장중량W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화</u>

$W_s \propto L^{\alpha}(B+D)^{\beta}$ 라고 가정하면, $W_s = C_S L^{\alpha}(B+D)^{\beta}$

C_S, α, β 는 우수한 실적선의 Data를 바탕으로 Regression analysis를 통하여 구할 수 있다.

대수 함수(Logarithm)로 표현하면,

$$\underbrace{\boxed{\ln W_s}}_{Y} = \underbrace{\boxed{\ln C_S}}_{A_0} + \alpha \underbrace{\boxed{\ln L}}_{X_1} + \beta \underbrace{\boxed{\ln(B+D)}}_{X_2}$$

다시 쓰면, $Y = A_o + \alpha X_1 + \beta X_2$

실적선에 대해 $X_{1i}, X_{2i}; Y_i$ 가 존재하고, 오차가 최소가 되는 평면을 구하면 C_S, α, β 를 구할 수 있다.

우수한 실적선에 대하여 계산한 결과 $C_S, \alpha = 1.6,\ \beta = 1$의 값이 나왔다.

$$\boxed{\therefore W_s = C_S L^{1.6}(B+D)}$$

선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (3) LWT를 선각중량 W_s, 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$\boxed{L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = DWT_{given} + LWT \cdots (2)}$$

요구 화물창 용적 <선주 요구사항>

$$\boxed{V_{H\_req} = f(L, B, D, C_B) \cdots (3)}$$

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT

LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

방법 ③: 경하중량(LWT)을 선각중량W_s , 의장중량W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

$W_o \propto L \cdot B$ **라고 가정하면,** $W_o = C_o \cdot L \cdot B,$ C_o**는 기준선으로부터 구함**

선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (3) LWT를 선각중량 W_s, 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$\boxed{L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = DWT_{given} + LWT \ \cdots (2)}$$

요구 화물창 용적 <선주 요구사항>

$$\boxed{V_{H\_req} = f(L, B, D, C_B) \cdots (3)}$$

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT

LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

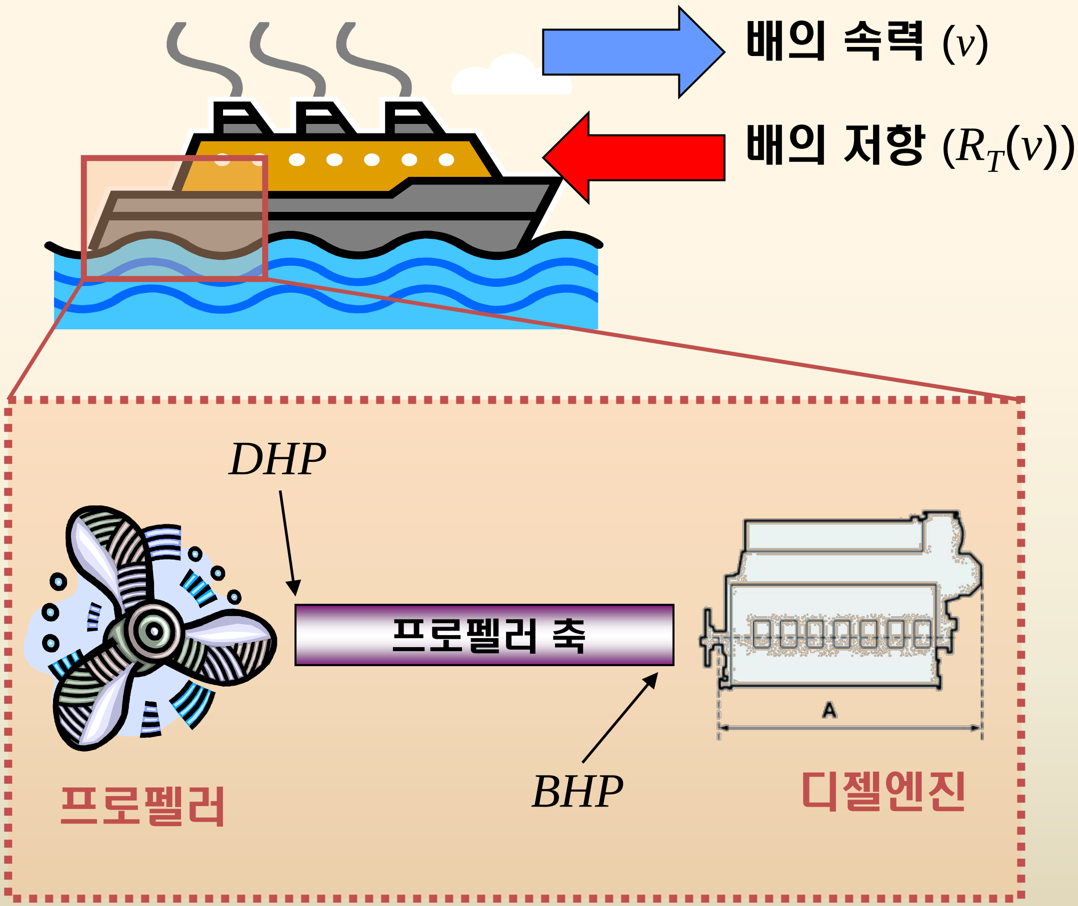
방법 ③ 경하중량(LWT)을 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

$W_m \propto NMCR^*$ **라고 가정하면,** $W_m = C_m \cdot NMCR$**,** C_m은 기준선으로부터 구함

*NMCR :**해당 엔진이 낼 수 있는 최대 마력으로서 엔진의 크기, 무게, 용적 및 가격의 기준이 된다.**

NMCR은 어떻게 추정할까?

주기관 마력 추정



① EHP (Effective Horse Power)

$$EHP = R_T(v) \cdot v$$ (In Calm Water)

② DHP (Delivered Horse Power)

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D}$$ (η_D : 추진효율)

③ BHP (Brake Horse Power)

$$BHP = \frac{DHP}{\eta_T}$$ (η_T : 축전달 효율)

④ NCR (Normal Continuous Rating)

$$NCR = BHP(1 + \frac{\text{Sea Margine}}{100})$$

⑤ DMCR (Derated Maximum Continuous Rating)

$$DMCR = \frac{NCR}{\text{Engine Margin}}$$

⑥ NMCR (Nominal Maximum Continuous Rating)

$$NMCR = \frac{DMCR}{\text{Derating rate}}$$

디젤엔진의 특성

☑ 디젤엔진의 출력

$$BHP = P_{me} \cdot L \cdot A \cdot n \cdot Z$$

여기서, BHP: Brake Horse Power(kW)

P_{me} : Mean Effective Presure

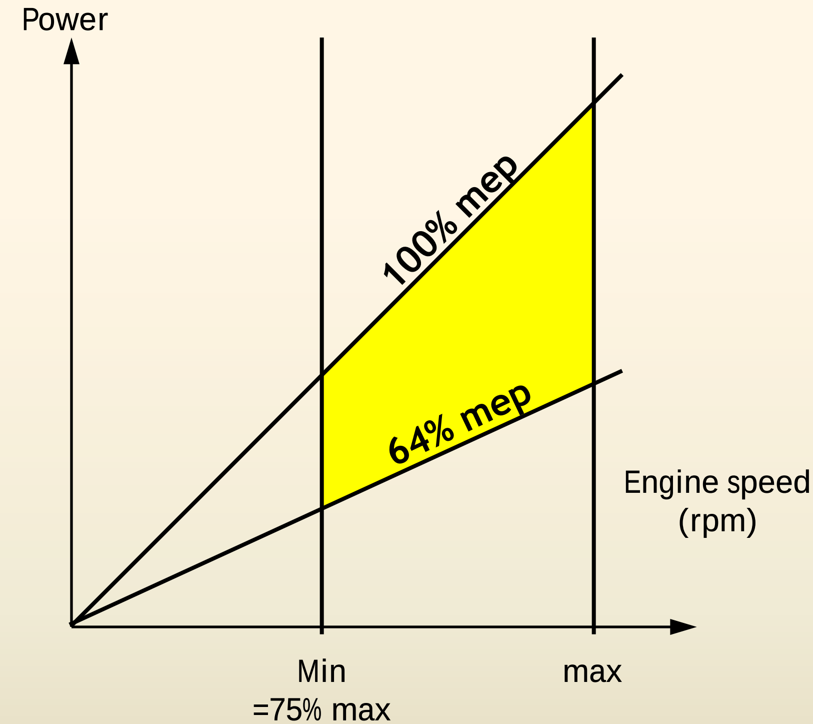
평균 유효 압력 (kN/m^2)

L: 피스톤 행정 (Stroke)(m)

A: 실린더 단면적 (m^2)

n: 매초회전수 $(1/s)$

Z: 실린더수

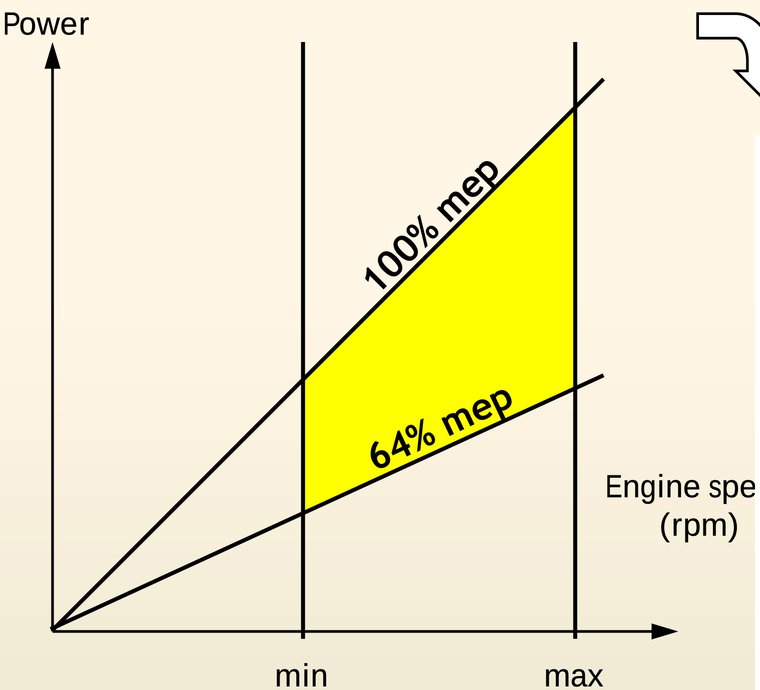


A와 Z가 일정하다고 하면

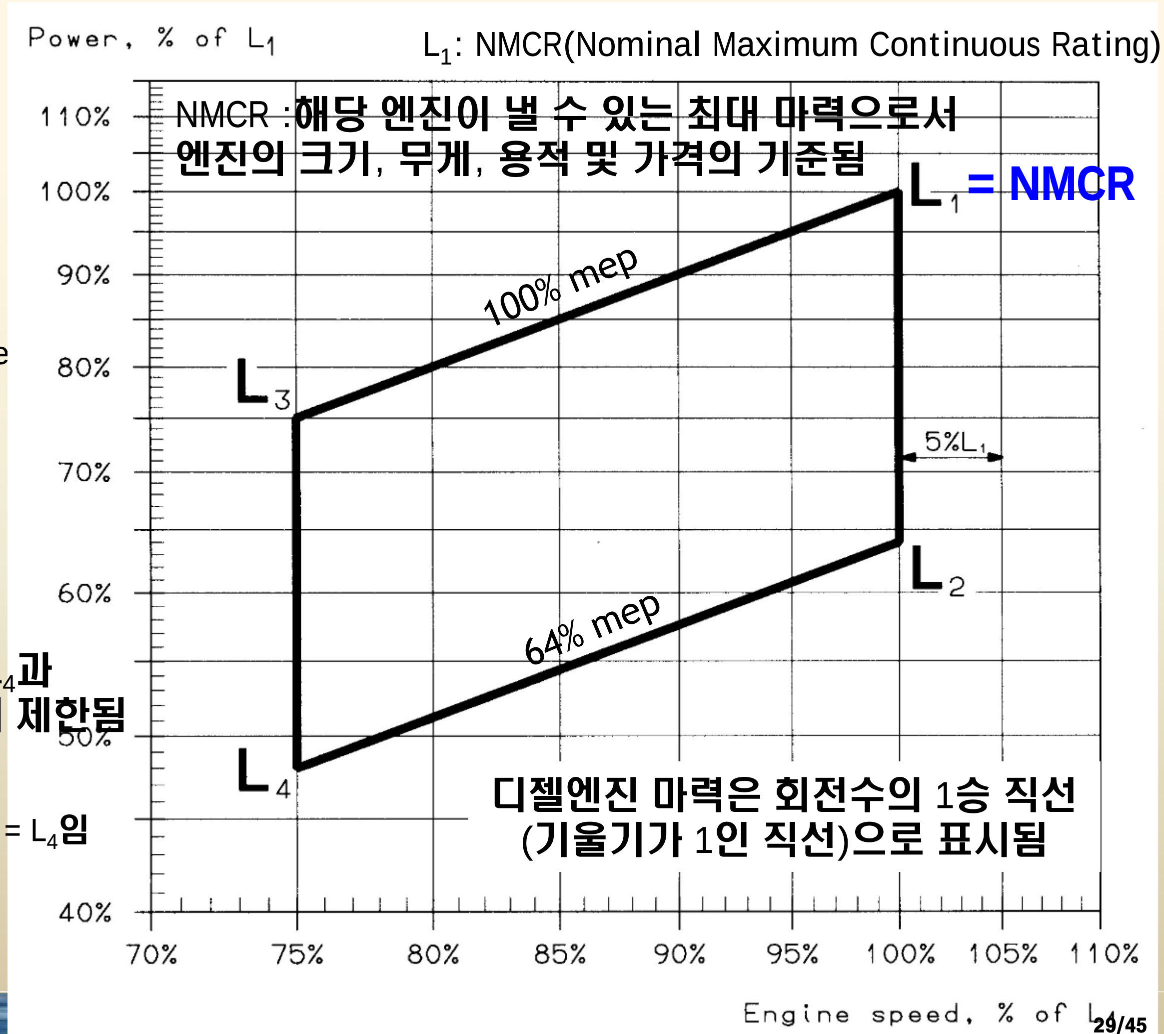
$$BHP = C_{DE} \cdot P_{me} \cdot n$$

이므로 디젤엔진의 출력은 디젤엔진의 회전수와 평균 유효 압력에 비례함

디젤엔진의 특성(2)
-디젤엔진의 작동 범위(layout diagram)



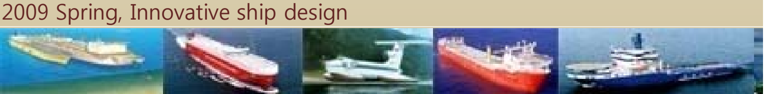
대수 함수(logarithm)로 표현



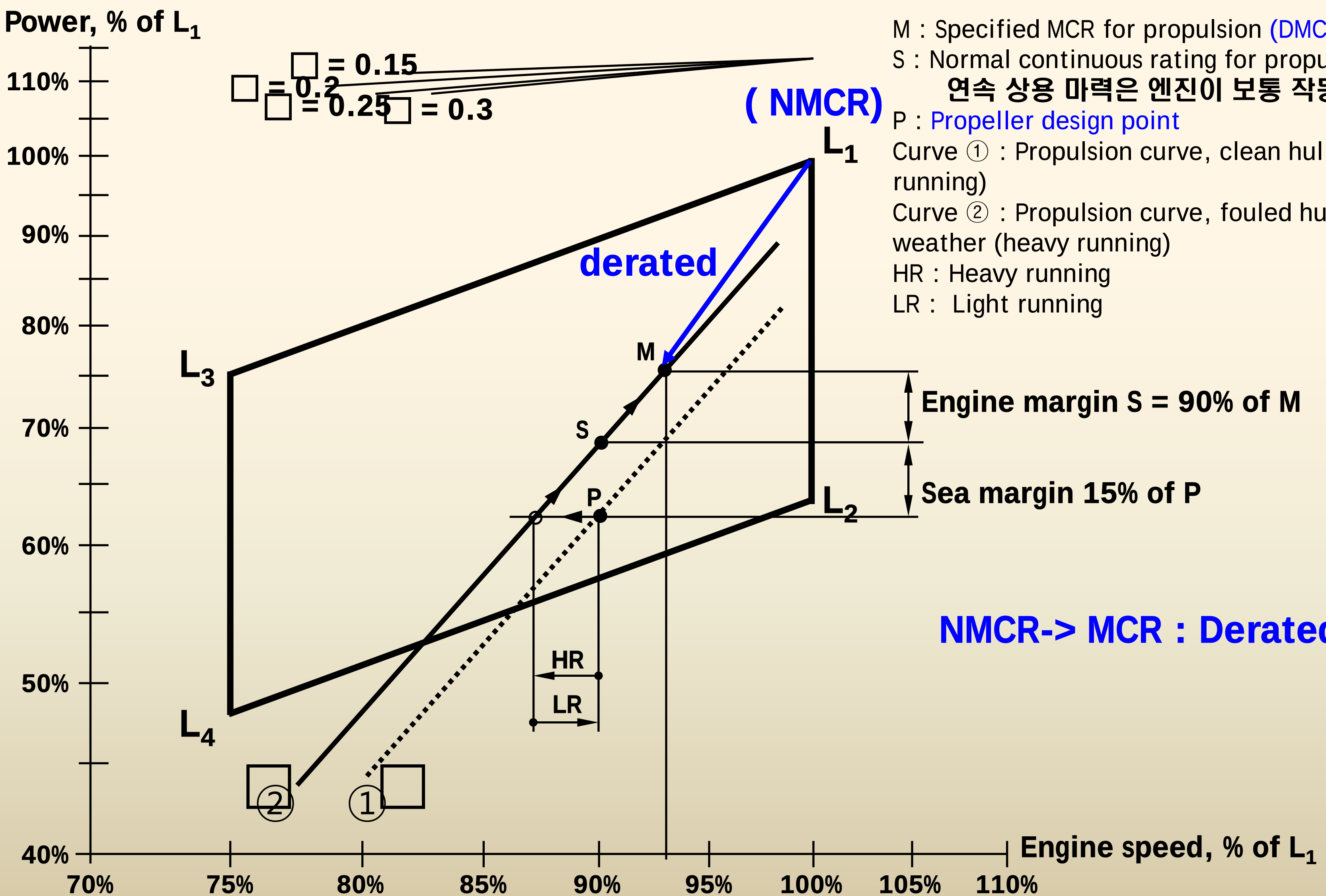
B&W/MAN **엔진의 경우**

두 개의 일정 평균 유효 압력 직선 L_1-L_3, L_2-L_4**과**
두 개의 일정 회전수 직선 L_1-L_2, L_3-L_4**에 의해 제한됨**

Sulzer **엔진의 경우**, R_1, R_2, R_3, R_4**로 표현하며**,
R1은 NMCR**에 해당하고**, $R_1 = L_1$, $R_2 = L_3$, $R_3 = L_2$, $R_4 = L_4$**임**



마력정의(2)
-디젤엔진의 작동 범위와 프로펠러 곡선



M : Specified MCR for propulsion (DMCR 또는 MCR)

S : Normal continuous rating for propulsion (NCR)

연속 상용 마력은 엔진이 보통 작동되는 마력임

P : Propeller design point

Curve ① : Propulsion curve, clean hull (light running)

Curve ② : Propulsion curve, fouled hull and heavy weather (heavy running)

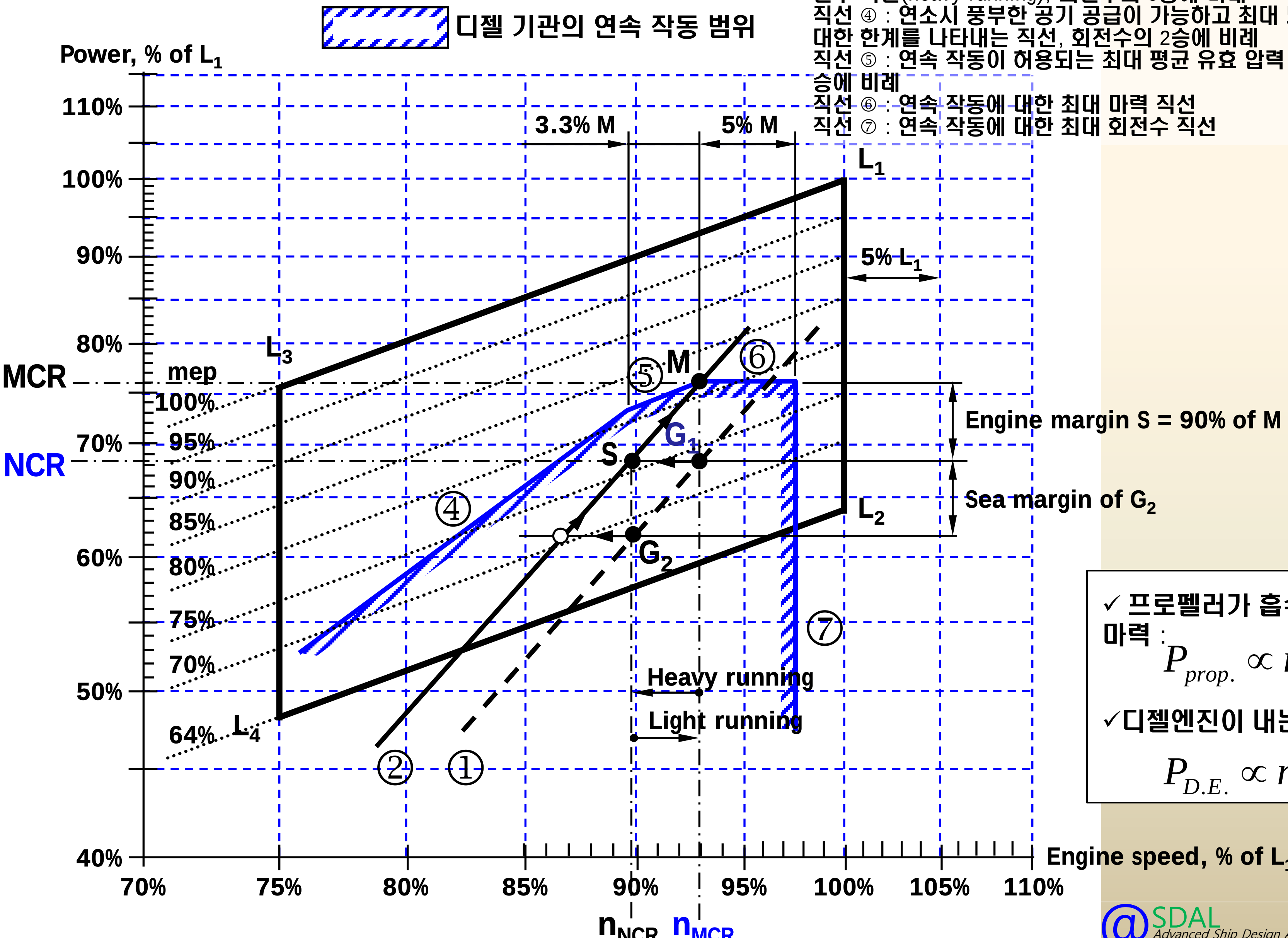
HR : Heavy running

LR : Light running

NMCR-> MCR : Derated MCR

디젤엔진의 부하범위와 프로펠러와의 Matching

M : Maximum continuous rating (DMCR 또는 MCR)
S : Normal continuous rating (NCR)
G_1, G_2 : Propeller design point
곡선 ① : 신조시 선박의 저항을 기준으로 한 프로펠러의 마력-회전수 곡선(light running)
곡선 ② : Sea margin을 고려한 선박 저항 증가시 프로펠러의 마력-회전수 곡선(heavy running), 회전수의 3승에 비례
직선 ④ : 연소시 풍부한 공기 공급이 가능하고 최대 토오크/회전수에 대한 한계를 나타내는 직선, 회전수의 2승에 비례
직선 ⑤ : 연속 작동이 허용되는 최대 평균 유효 압력 직선, 회전수의 1승에 비례
직선 ⑥ : 연속 작동에 대한 최대 마력 직선
직선 ⑦ : 연속 작동에 대한 최대 회전수 직선



✓ 프로펠러가 흡수하는 마력 :

$$P_{prop.} \propto n^3$$

✓ 디젤엔진이 내는 마력 :

$$P_{D.E.} \propto n$$

선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

$$W_m = C_m \cdot NMCR$$

NMCR을 추정하기 위해서는 먼저 DHP를 알아야 한다.

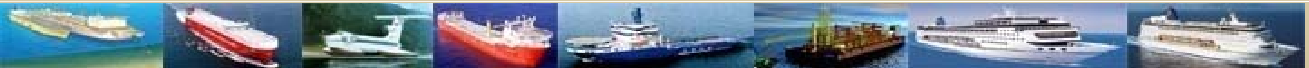
DHP는 저항 및 마력 추정을 통해 결정해야 하나
초기 단계에서는 정수중(Calm water)의 DHP를 다음의 가정을 통해 개략적으로 추정할 수 있음

$$DHP_{Calm\,water} \propto \Delta^{2/3} \cdot V^3$$ 라고 가정하면, $$DHP_{Calm\,water} = C_{DHP} \Delta^{2/3} \cdot V^3$$

이때, $\dfrac{1}{C_{DHP}} = C_{ad}$ 라 하고 "Admiralty 계수"라고 한다.

$$C_{ad} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{DHP_{Calm\,water}}$$

- C_{ad}의 분자 $\Delta^{2/3} \times V^3$ 은 마력에 비례하므로 Admiralty계수는 일종의 추진 계수에 비례하는 계수임
- 주요치수가 결정 되면, DHP는 저항과 추진계수를 상세히 추정해 결정 해야 한다.(2주차 강의 내용)



DHP와 NMCR과의 관계

① BHP (Brake Horse Power) (In Calm Water)

$$BHP = \frac{DHP}{\eta_T} \quad (\ \eta_T : \text{축전달 효율})$$

② NCR (Normal Continuous Rating)

$$NCR = BHP \cdot (1 + \frac{\text{Sea Margine}}{100})$$

③ DMCR (Derated Maximum Continuous Rating)

$$MCR = \frac{NCR}{\text{Engine Margin}}$$

④ NMCR (Nominal Maximum Continuous Rating)

$$NMCR = \frac{MCR}{\text{Derating ratio}}$$

$$\therefore NMCR = \frac{1}{\eta_T} \cdot (1 + \frac{\text{Sea Margine}}{100}) \cdot \frac{1}{\text{Engine Margin}} \cdot \frac{1}{\text{Derating ratio}} \cdot DHP$$

$$= C_1 \cdot DHP$$

선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

$$W_m = C_m \cdot NMCR$$

$$NMCR = C_1 \cdot DHP$$

$$DHP_{Calm\,water} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{C_{ad}}$$

$$NMCR = \frac{C_1}{C_{ad}} \Delta^{2/3} \cdot V^3$$

$$\therefore W_m = C_m \cdot \frac{C_1}{C_{ad}} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3, \quad C_m \cdot \frac{C_1}{C_{ad}} = C_{power}$$ 라 하면

$$\boxed{W_m = C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3}$$

-기관마력은 주요치수가 일단 선정되면, 좀 더 상세한 기관마력을 추정할 수 있음
- 즉 저항 추정 -> 마력 추정 -> MCR추정 -> 프로펠러 효율 추정 -> 마력 추정
- 이에 따라 기관부 중량이 변하고 다시 경하중량이 변하게 되어 변경된 값으로 다시 추정해야 함

선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (3) LWT를 선각중량 W_s, 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$\boxed{L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1+\alpha) = DWT_{given} + LWT \cdots (2)}$$

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT

요구 화물창 용적 <선주 요구사항>

$$\boxed{V_{H\_req} = f(L, B, D, C_B) \cdots (3)}$$

LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

방법 ③ 경하중량(LWT)을 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

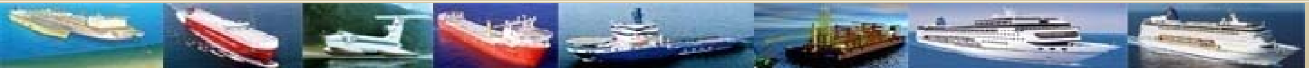
$$LWT = W_S + W_o + W_m$$

$$\begin{aligned} W_s &= C_s \cdot L^{1.6}(B+D), \\ W_o &= C_o \cdot L \cdot B, \\ W_m &= C_m \cdot NMCR \\ &= C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3, \end{aligned}$$

$$\boxed{\begin{aligned} L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot C_\alpha = DWT_{given} &+ C_s \cdot L^{1.6}(B+D) + C_o \cdot L \cdot B \\ &+ C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3 \quad \cdots (2.3) \end{aligned}}$$

따라서 미지수 4개 (L, B, D, C_B), 식 2개((2.3),(3)) 의 비선형 부정방정식 이다.

⇨ 최적화 문제 ⇨ 목적 함수를 최소화(ex.건조비 최소화)하는 문제로 풀 수 있다.



■ 요구 화물창 용적 조건

선주는 최대 화물의 중량 뿐만 아니라, 화물을 운송하기 위해서 필요한 화물창의 용적을 요구한다.

$$\boxed{V_{H\_req} = f(L, B, D, C_B) \cdots (3)}$$

일반적으로 화물창 용적을 만족하기 위해서는 D를 가정한다.

화물창 용적은 초기 단계에서 다음과 같이 간략하게 가정할 수 있다.

$$V_{H\_req} \propto L \cdot B \cdot D$$ (선박의 Volume에 비례한다고 가정)

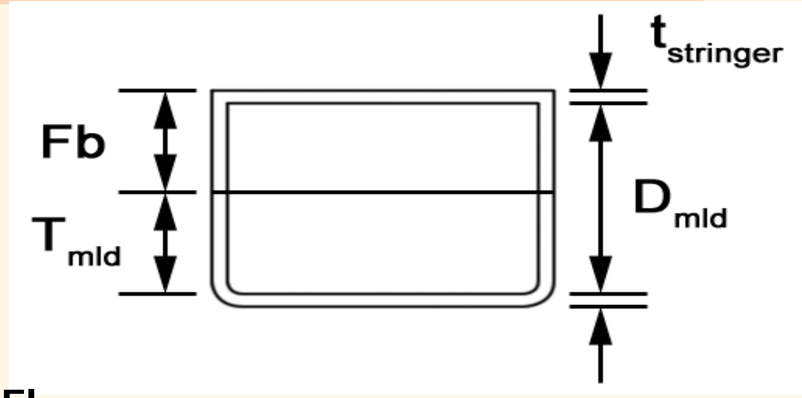
$$\boxed{V_{H\_req} = C_H \cdot L \cdot B \cdot D \cdots (3.1)}$$

위의 식 (3.1)은 개략적 추정식 이므로 추후 구획 배치가 진행됨에 따라 화물창 용적을 다시 추정해야 한다.

선박 주요 치수 결정 (L,B,D,T,C_B) 문제의 수학적 모델
– D에 대한 제약 조건 (ICLL 1966 요구 건현)

■ **건현 (Free board;Fb)**

- 흘수로부터 Upper Deck 의 두께를 포함한 높이



■ **최소 요구 건현 조건**

-선박이 운동을 하다 보면 갑판이 물에 잠길 수 있다.
-선박이 Roll 운동을 할 때에도 횡경사가 심할 경우 Sheer strake(갑판의 측면)이 물에 잠길 수 있다.
-따라서 예비 부력으로서 건현을 두어야 한다.

$$D \geq T + \underbrace{\mathrm{Fb}}_{\text{건현}}$$

건현은 Depth에 비례하는 것으로 가정할 수 있다. $\mathrm{Fb} \propto \mathrm{D}$
따라서 초기 설계 단계에서 아래와 같이 개략적으로 계산할 수 있다

$$\boxed{D \geq T + C_{FB} \cdot D \cdots (4)}$$

실제로는 다음과 같은 식으로부터 계산을 해야 함 (2주차 강의 내용)

ICLL(International Convention on Load Line) 1966 요구 건현

$$\mathrm{Fb} = f(L_f, D, C_B, Superstructure_{Length}, Superstructure_{Height}, Sheer)$$

선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델(요약)
- "개념설계 방정식"

구하는 값(설계 변수) L, B, D, C_B
길이 폭 깊이 방형 계수

주어진 값(선주 요구 조건) $DWT, V_{H\_req}, T_{\max}(=T), V$
재화 중량 요구 화물창 용적 최대 흘수 선속

물리적 제한 조건

→ **부력**(buoyancy)-**중량**(Weight) **평형 조건**(등호 제약 조건)

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha = DWT_{given} + LWT(L, B, D, C_B)$$
$$= DWT_{given} + C_s \cdot L^{1.6}(B+D) + C_o \cdot L \cdot B$$
$$+ C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3 \quad \cdots (2.3)$$

선주 요구 조건(인위적 제한 조건)

→ **요구되는 화물창 용적**(cargo capacity) **조건**(등호 제약 조건)

$$V_{H\_req} = C_H \cdot L \cdot B \cdot D \cdots (3.1)$$

- DFOC(Daily Fuel Oil Consumption)
  + **저항 추진과 관련이 있음**
- **납기일**(Delivery Date)
  + **생산 공정과 관련이 있음**

국제 규약 조건

→ **최소 요구 건현 조건**(1966 ICLL)(부등호 제약 조건)

$$D \ge T + C_{FB} \cdot D \cdots (4)$$

목적 함수(주요 치수 선정 기준)

$$Building\ Cost = C_{PS} \cdot C_s \cdot L^{1.6}(B+D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot L \cdot B + C_{PM} \cdot C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3$$

➡ **미지수** 4개(L,B,D,C_B), **등호 제약 조건** 2개 ((2.3),(3.1)) **부등호 제약 조건** 1개((4))**인 최적화 문제**

참고 슬라이드

Lagrange Multiplier를 이용한 제약 비선형 최적화 기법
- 선박의 주요치수 결정문제

Lagrange Multiplier를 이용한 제약 비선형 최적화 기법 - 선박의 주요치수 결정문제

- **Given**: $DWT, V_{H.req}, D, Ts, Td, C_{B.d}$
- **Find** : $L, B, C_{B.s}$
  - 부력• 중량 평형조건

$$L\cdot B\cdot T_s\cdot C_{B.s}\cdot\rho_{sw}\cdot C_\alpha = DWT_{given}+LWT(L,B,D,C_{B.d})$$

$$= DWT_{given}+\boxed{C_s\cdot L^{1.6}\cdot(B+D)}+C_o\cdot L\cdot B+\boxed{C_{power}\cdot(L\cdot B\cdot T_d\cdot C_{B.d})^{2/3}\cdot V^3} \quad ...(a)$$

가정①
$$\to C_s'\cdot L^{2.0}\cdot(B+D)$$

가정②
$$\to C_{power}'\cdot(2\cdot B\cdot T_d+2\cdot L\cdot T_d+L\cdot B)\cdot V^3$$

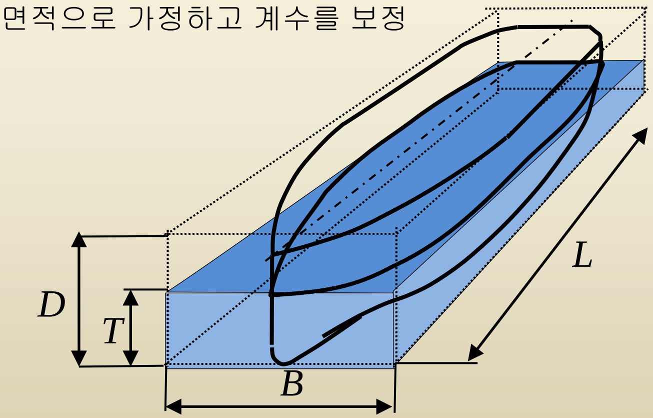
$(L\cdot B\cdot T\cdot C_B)^{2/3}$ 는 Volume$^{2/3}$ 이고, 이는 침수된 면적을 고려한 것이므로, 이를 직육면체의 침수면적으로 가정하고 계수를 보정

  - 화물창 요구조건

$$V_{H.req}=C_H\cdot L\cdot B\cdot D \quad ...(b)$$

  - 조종성능을 고려한 비만계수

$$\frac{C_{B.S}}{(L/B)}<0.15 \quad ...(c)$$



미지수 **3**개(**$L,B,C_{B.s}$**), 등호제약조건 **2**개**((a),(b))**인 비선형 부정방정식 이다.

⇨ 목적함수를 최소화 하는 최적화 문제로 풀 수 있다.

Lagrange Multiplier를 이용한 제약 비선형 최적화 기법 - 선박의 주요치수 결정문제

- ***Given***: $DWT, V_{H.req}, D, Ts, Td, C_{B.d}$
- ***Find*** : $L, B, C_{B.s}$
- ***Minimize*** : Building Cost

$$f(L,B,C_{B.s}) = C_{PS} \cdot C_s{}' \cdot L^{2.0} \cdot (B+D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot L \cdot B + C_{PM} \cdot C_{power}{}' \cdot (2 \cdot B \cdot T_d + 2 \cdot L \cdot T_d + L \cdot B) \cdot V^3 \quad ...(e)$$

- ***Subject to***
  - 부력• 중량 평형조건

$$L \cdot B \cdot T_s \cdot C_B \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha = DWT_{given} + LWT(L,B,D,C_B)$$

$$= DWT_{given} + C_s{}' \cdot L^{2.0} \cdot (B+D) + C_o \cdot L \cdot B + C_{power}{}' \cdot (2 \cdot B \cdot T_d + 2 \cdot L \cdot T_d + L \cdot B) \cdot V^3 \quad ...(b)$$

  - 화물창 요구조건

$$V_{H.req} = C_H \cdot L \cdot B \cdot D \quad ...(c)$$

  - 조종성능을 고려한 비만계수

$$\frac{C_{B.s}}{(L/B)} < 0.15 \quad ...(d)$$

Lagrange Multiplier를 이용한 제약 비선형 최적화 기법 - 선박의 주요치수 결정문제

- Lagrange multiplier λ_1, λ_1, u를 도입하여 (a), (b), (c), (d)로 부터

$$H\left(L,B,C_{B.s},\lambda_1,\lambda_2,u,s\right)=f\left(L,B,C_{B.s}\right)+\lambda_1\cdot h_1\left(L,B,C_{B.s}\right)+\lambda_2\cdot h_2\left(L,B,D\right)+u\cdot g\left(L,B,C_{B.s},s\right) \quad .\quad e)$$

$$f\left(L,B,C_{B.s}\right)=C_{PS}\cdot C_s{}'\cdot L^2\cdot(B+D)+C_{PO}\cdot C_o\cdot L\cdot B+C_{PM}\cdot C_{power}{}'\cdot\{2\cdot\left(B+L\right)\cdot T_d+L\cdot B\}\cdot V^3$$

$$h_1\left(L,B,C_{B.s}\right)=L\cdot B\cdot T_s\cdot C_B\cdot\rho_{sw}\cdot C_\alpha-DWT_{given}-C_s{}'\cdot L^{2.0}\cdot(B+D)-C_o\cdot L\cdot B-C_{power}{}'\cdot\{2\cdot\left(B+L\right)\cdot T_d+L\cdot B\}\cdot V^3$$

$$h_2\left(L,B,D\right)=C_H\cdot L\cdot B\cdot D-V_{H\_req}$$

$$g\left(L,B,C_{B.s},s\right)=\frac{C_{B.s}}{\left(L/B\right)}-0.15+s^2$$

$$L\rightarrow x_1, B\rightarrow x_2, C_B\rightarrow x_3$$

$$\begin{aligned}
&H\left(x_1,x_2,x_3,\lambda_1,\lambda_2,u,s\right)\\
&=C_{PS}\cdot C_s{}'\cdot x_1{}^2(x_2+D)+C_{PO}\cdot C_o\cdot x_1\cdot x_2+C_{PM}\cdot C_{power}{}'\cdot\{2\cdot\left(x_2+x_1\right)\cdot T_d+x_1\cdot x_2\}\cdot V^3\\
&\quad+\lambda_1\cdot[x_1\cdot x_2\cdot T_s\cdot x_3\cdot\rho_{sw}\cdot C_\alpha-DWT_{given}-C_s\cdot x_1{}^2\cdot(x_2+D)-C_o\cdot x_1\cdot x_2-C_{power}{}'\cdot\{2\cdot\left(x_2+x_1\right)\cdot T_d+x_1\cdot x_2\}\cdot V^3]\\
&\quad+\lambda_2\cdot\left(C_H\cdot x_1\cdot x_2\cdot D-V_{H_req}\right)\\
&\quad+u\cdot\left\{x_3/\left(x_1/x_2\right)-0.15+s^2\right\} \qquad ...(f)
\end{aligned}$$

Lagrange Multiplier를 이용한 제약 비선형 최적화 기법 - 선박의 주요치수 결정문제

$L \rightarrow x_1, B \rightarrow x_2, C_B \rightarrow x_3$

$$
\begin{aligned}
H(x_1, x_2, x_3, \lambda_1, \lambda_2, u, s) = {} & C_{PS} \cdot C_s' \cdot x_1^2 (x_2 + D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot x_1 \cdot x_2 + C_{PM} \cdot C_{power}' \cdot \{2 \cdot (x_2 + x_1) \cdot T_d + x_1 \cdot x_2\} \cdot V^3 \\
& + \lambda_1 \cdot [x_1 \cdot x_2 \cdot T_s \cdot x_3 \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha - DWT_{given} - C_s \cdot x_1^2 \cdot (x_2 + D) - C_o \cdot x_1 \cdot x_2 - C_{power}' \cdot \{2 \cdot (x_2 + x_1) \cdot T_d + x_1 \cdot x_2\} \cdot V^3] \\
& + \lambda_2 \cdot (C_H \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot D - V_{H\_req}) + u \cdot \{x_3 / (x_1 / x_2) - 0.15 + s^2\} \quad \ldots(f)
\end{aligned}
$$

- (f)식으로부터 Lagrange function H가 상점이 되는 점 x_1, x_2, x_3를 결정하기 위해 $\nabla H(x_1, x_2, x_3, \lambda_1, \lambda_2, u, s) = 0$ 를 구하면

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial H}{\partial x_1} = {} & 2C_{PS} \cdot C_s' \cdot x_1 \cdot (x_2 + D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot x_2 + C_{PM} \cdot C_{power}' \cdot (2 \cdot T_d + x_2) \cdot V^3 \\
& + \lambda_1 \cdot (x_2 \cdot T_s \cdot x_3 \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha - [2 \cdot C_s \cdot x_1 \cdot (x_2 + D) + C_o \cdot x_2 + C_{power}' \cdot (2 \cdot T_d + x_2) \cdot V^3]) \\
& + \lambda_2 \cdot (C_H \cdot x_2 \cdot D) + u \cdot (-x_3 \cdot x_2 / x_1^2) = 0 \quad \ldots(1)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial H}{\partial x_2} = {} & C_{PS} \cdot C_s' \cdot x_1^2 + C_{PO} \cdot C_o \cdot x_1 + C_{PM} \cdot C_{power}' \cdot (2 \cdot T_d + x_1) \cdot V^3 \\
& + \lambda_1 \cdot [x_1 \cdot T_s \cdot x_3 \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha - C_s' \cdot x_1^2 - C_o \cdot x_1 - C_{power}' (2 \cdot T_d + x_1) \cdot V^3] \\
& + \lambda_2 \cdot (C_H \cdot x_1 \cdot D) + u \cdot (x_3 / x_1) = 0 \quad \ldots(2)
\end{aligned}
$$

Lagrange Multiplier를 이용한 제약 비선형 최적화 기법 - 선박의 주요치수 결정문제

최적화 문제

$L \rightarrow x_1, B \rightarrow x_2, C_B \rightarrow x_3$

$$H(x_1,x_2,x_3,\lambda_1,\lambda_2,u,s) = C_{PS} \cdot C_s{}' \cdot x_1{}^2(x_2+D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot x_1 \cdot x_2 + C_{PM} \cdot C_{power}{}' \cdot \{2 \cdot (x_2+x_1) \cdot T_d + x_1 \cdot x_2\} \cdot V^3$$
$$+ \lambda_1 \cdot [x_1 \cdot x_2 \cdot T_s \cdot x_3 \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha - DWT_{given} - C_s \cdot x_1{}^2 \cdot (x_2+D) - C_o \cdot x_1 \cdot x_2 - C_{power}{}' \cdot \{2 \cdot (x_2+x_1) \cdot T_d + x_1 \cdot x_2\} \cdot V^3]$$
$$+ \lambda_2 \cdot (C_H \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot D - V_{H\_req}) + u \cdot \{x_3/(x_1/x_2) - 0.15 + s^2\} \quad ...(f)$$

- $\nabla H(x_1,x_2,x_3,\lambda_1,\lambda_2,u,s) = 0$ 를 구하면

$$\frac{\partial H}{\partial x_3} = \lambda_1 . x_1 \cdot x_2 \cdot T_s \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha + u \cdot (x_2/x_1) = 0 \quad ...(3)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \lambda_1} = x_1 \cdot x_2 \cdot T_s \cdot x_3 \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha - DWT_{given} - C_s \cdot x_1{}^2 \cdot (x_2+D) - C_o \cdot x_1 \cdot x_2$$
$$- C_{power}{}' \cdot \{2 \cdot (x_2+x_1) \cdot T_d + x_1 \cdot x_2\} \cdot V^3 \quad \cdots(4)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \lambda_2} = C_H \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot D - V_{H\_req} = 0 \quad ...(5)$$

$$\frac{\partial H}{\partial u} = x_3 \cdot x_2 / x_1 - 0.15 + s^2 = 0 \quad ...(6)$$

$$\frac{\partial H}{\partial s} = 2 \cdot u \cdot s = 0, \quad (u \geq 0) \quad ...(7)$$

- ***$\nabla H(x_1, x_2, x_3, \lambda_1, \lambda_2, u,s)$*** : 미지수 **7**개, **(1)~(7)** 식**7**개, 비선형 연립방정식

수치적 방법으로 해를 구할 수 있다!

Lagrange Multiplier를 이용한 제약 비선형 최적화 기법 - 선박의 주요치수 결정문제

$L \rightarrow x_1, B \rightarrow x_2, C_B \rightarrow x_3$

- Matlab을 이용한 프로그래밍

```
syms L B Cb ram1 ram2 u1 s2
D=31.0
T=22.3
f1=2*Cps*Cs*L*(B+D) + Cpo*Co*B + Cpm*Cpower*(2*21+B)*V^3
   + 0.6119*ram1*B*D + ram2*( B*T*Cb*rho - 2*Cs*L*(B+D)
   - Co*B - Cpower*(2*21+B)*V^3) +u1*(-Cb*B/(L^2));
f2= Cps*Cs*(L^2)   + Cpo*Co*L + Cpm*Cpower*(2*21+L)*V^3
   + 0.6119*ram1*L*D + ram2*( L*T*Cb*rho - Cs*L^2
   - Co*L - Cpower*(2*21+L)*V^3) +u1*(Cb/L);
f3=ram2*L*B*T*rho   + u1*B/L;
f4=0.6119*L*B*D-360000;
f5=L*B*T*Cb*rho-320000-(Cs*(L^2)*(B+D)
  +Co*L*B+Cpower*(2*(B+L)*21+L*B)*V^3);
f6=Cb*B/L-0.1513*(s1^2);
f7=2*u1*s1;
[y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7]=solve(f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7);
```

- Symbolic 변수 선언:변수7개
- 변수 이외는 상수값 입력

$$\frac{\partial H}{\partial x_1} \quad ...(1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x_2} \quad ...(2)$$

$$\partial H / \partial x_3 \quad ...(3)$$

$$\partial H / \partial \lambda_1 \quad ...(4)$$

$$\partial H / \partial \lambda_2 \quad ...(5)$$

$$\partial H / \partial u \quad ...(6)$$

$$\partial H / \partial s \quad ...(7)$$

연립방정식을 해를 구하는 명령어 'solve'실행