

Computer Aided Ship design

-Part I. Optimal Ship Design-

September, 2009
Prof. Kyu-Yeul Lee

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



Seoul
National
Univ.



Advanced Ship Design Automation Lab.
<http://asdal.snu.ac.kr>



PA#5 선박주요치수 결정 프로그래밍 가이드

2009.10.29

서울대학교 조선해양공학과
선박설계자동화연구실



Seoul
National
Univ.



Advanced Ship Design Automation Lab.
<http://asdal.snu.ac.kr>



선박의 주요 치수 결정 문제

■ 주어진 값(선주 요구 조건)

- 재화 중량(Deadweight; DWT)
- 화물창 용적(Cargo Capacity; CC_{req})
- 최대 흘수(T_{max})
- 선속(V)

■ 구하는 값(설계 변수)

- 선박의 길이(Length; L)
- 선박의 폭(Breadth; B)
- 선박의 깊이(Depth; D)
- 방형 계수(Block Coefficient; C_B)

■ 제약 조건

- 부력·중량 평형 조건(선박의 경하 중량 추정 필요)
- 화물창 용적 요구 조건(화물창 용적 계산 필요)
- 최소 요구 건현 조건(건현 계산 필요)

■ 주요 치수 선정 기준(목적 함수)

- 최소 건조비 또는 최소 중량 또는 최소 운송비



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)

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

선주 요구 조건(인위적 제한 조건)

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

$$V_{H_req} = C_H \cdot L \cdot B \cdot D \dots (3.1)$$

- 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)

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

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

선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

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

ρ : 유체의 밀도

α : 부가 배수량 계수

Given: $DWT, T,$

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT

식 1개 미지수 5개의 비선형 부정방정식

⇒ 미지수 4개를 가정하면, 주요치수를 결정할 수 있다.



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m

LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,

C_{B.design} : 0.8213 ton, C_{B.scantling} : 0.8257 ton,



선박주요치수 결정 문제

문제] 아래와 7page에 주어진 기준선의 자료를 토대로, 설계선의 최적 주요치수를 결정 하시오.

※ 실적선 자료 : 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)

LWT : 41,000 [ton],

$W_s = 36,423$ [ton] , $W_o = 2,722$ [ton] , $W_M = 1,872$ [ton]

건조비와 관련된 계수는 다음과 같이 주어졌다고 가정한다.

$C_{PS} = 2,247$, $C_{PO} = 6,341$, $C_{PM} = 14,757$

※ 설계 요구 조건 :

$T_{design} = 21.0$ [m] , $DWT_{scantling} = 320,000$ [ton]

$V = 16$ [knots] , $V_{H_req} = 360,000$ [m^3]

항 목		실 적 선	설 계 선	비 고
주요제원	Loa	abt. 330.30 m	?	최적의 제원 선정할 것
	Lbp	314.00 m	?	
	B,mld	58.00 m	?	
	Depth,mld	31.00 m	?	
	d(design)	20.90 m	21.00 m	
	d(scant.)	22.20 m	?	
	Cb(at design draft)	0.821	?	
	Cb(at scant. draft)	0.826	?	
Deadweight (at design draft)		279,000 Ton	?	
Deadweight (at scant. draft)		302,000 Ton	320,000 Ton	
Speed		15.0 Knots	16.0 Knots	at design draft,90 % MCR(with 15% Sea Margin)
Capacity	Cargo Hold	abt. 345,500 m ³	abt. 360,000 m ³	

주요치수와 기본 성능과의 관계(1)

- 흘수(T)와 기본 성능과의 관계

■ 흘수(T)와 기본 성능과의 관계

■ 흘수는 방형 계수(C_B)와 밀접한 관계가 있음

$$\begin{aligned}\Delta &= L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) \\ &= W = LWT + DWT\end{aligned}$$

■ 흘수가 커짐에 따라 일반적으로 깊이(D)가 증가

$$D \geq T + \text{Freeboard}$$

■ 대형 전용선의 경우 주어진 설계 조건 내에서 건조비를 감소할 수 있는 최대의 효과적인 수단

➔ 운항상의 제한 내에서 흘수를 가능한 크게 선정



주요치수와 기본 성능과의 관계(2)

- 길이(L)와 기본 성능과의 관계

■ 길이(L)와 기본 성능과의 관계

■ 길이와 건조비

- 길이가 증가하면 선각 강재 중량(W_s)은 급격히 증가

$$\text{예, } W_s \propto L^{1.6} \cdot (B + D)$$

■ 길이와 종강도

- 길이가 클수록 요구 선체횡단면 계수가 커져 구조 중량 증가

■ 길이와 저항 추진 성능

- 같은 배수량에서 길이가 길수록 선형이 보다 날씬(Slender)해지므로 속도 성능이나 조종 성능 등의 유체 동역학적 성능이 향상

■ 길이와 요구 건현(Freeboard)

- 길이가 증가하면 ICLL 1966에 따른 요구 건현이 증가

ICLL 1966 요구 건현

$$\text{Freeboard} = f(L_f, D, C_B, \text{Superstructure}_{Length}, \text{Superstructure}_{Height}, \text{Sheer})$$

주요치수와 기본 성능과의 관계(3)

- 폭(B)과 기본 성능과의 관계

■ 폭(B)과 기본 성능과의 관계

■ 폭과 복원 성능

- 폭이 증가하면 초기 복원성(GM)이 증가

$$GM \propto BM \propto B^2 / T, \quad GM = T(0.9 - 0.3C_M - 0.1C_B) + B \left(\frac{0.08}{\sqrt{C_M}} \cdot \frac{B}{T} \right) - D \left(\frac{1.6}{L^{0.2}} \right)$$

■ 폭과 횡동요(Roll Period) 주기

- 폭이 증가하면 횡동요 주기가 증가

$$Tr \propto B / \sqrt{GM}, \quad GM \leq 4\pi^2 (0.4B)^2 / (gTr^2)$$

■ 폭과 저항 추진 성능

- 폭이 과도하면 조파 저항이 커지고, 너무 작으면 복원 성능이 문제가 됨

■ 폭과 조종 성능(비만 계수 추천값)

$$C_B / (L/B) \leq 0.15$$



주요치수와 기본 성능과의 관계(4)

- 방형 계수(C_B)와 기본 성능과의 관계

■ 방형 계수(C_B)와 기본 성능과의 관계

■ C_B 와 저항 성능

- C_B 가 작을 수록 일반적으로 유체 동역학적 성능은 향상

■ C_B 와 건조비

- C_B 가 클수록 선체 주요 치수를 작게 할 수 있어 구조부 가격(건조비) 감소
- C_B 가 과도하면 저항 추진 성능이 나빠져 기관 마력이 커지고 기관 부 가격이 상승
- C_B 가 과도하면 연료 소모량이 증가하여 운항비 증가

■ C_B 에 대한 추천 상한값(현재 많이 사용됨)

- Watson과 Gilfillan에 의한 추정식

$$C_B \leq 0.70 + 0.125 \tan^{-1} \left((23 - 100Fn) / 4 \right)$$



주요치수와 기본 성능과의 관계(5)

- 초기 복원성, 비만 계수, C_B 추천 값

■ 초기 복원성 요구 조건 예

$$0.04B \leq GM \leq 4\pi^2(0.4B)^2 / (gTr^2)$$

* Tr: 횡동요 주기(Roll Period)

$$GM = T(0.9 - 0.3C_M - 0.1C_B) + B \left(\frac{0.08}{\sqrt{C_M}} \cdot \frac{B}{T} \right) - D \left(\frac{1.6}{L^{0.2}} \right)$$

■ 조종성 관점에서의 비만 계수(Obesity Coefficient) 요구 조건 예

$$C_B / (L/B) \leq 0.15$$

비만 계수

■ Watson & Gilfillan에 의한 C_B 추천 값

$$C_B \leq 0.70 + 0.125 \tan^{-1}((23 - 100Fn)/4)$$



주요치수와 기본 성능과의 관계(6)

- 깊이(D)와 기본 성능과의 관계

■ 깊이(D)와 기본 성능과의 관계

■ 깊이와 건현

- 깊이가 증가하면 건현 증가

$$D \geq T + \text{Freeboard}$$

■ 깊이와 화물창 용적(CC; Cargo Capacity)

- 깊이가 증가하면 화물창 용적 증가

$$CC = f(L, B, D, C_B, L_{APT}, L_{ER}, L_{FPT}, DB_{Height})$$

* L_{APT} : 선미창 길이, L_{ER} : 기관부 길이, L_{FPT} : 선수창 길이, DB_{Height} : 이중저 높이

■ 깊이와 종강도(LS; Longitudinal Strength)

- 깊이가 증가하면 종강도 증가

$$LS = f(L/D)$$

* 일반적으로 $9.0 \leq L/D \leq 13.0$



Ship Class의 구현 예(1)

```

class Ship
{
public:
    Ship();
    virtual ~Ship();

    // 선주 요구 조건(Given)
    double m_fDWT;
    double m_fCCrequirement;
    double m_fTmax;
    double m_fVs;

    // 선박 주요 치수(Find)
    double m_fL;
    double m_fB;
    double m_fD;
    double m_fCb;

    double m_fCC;
    double m_fFB;
    double m_fDisplacement;
    double m_fLWT;

    // 기준선 정보로부터 계산되는 변수
    double m_fAppendageFactor;
    double m_fCs;
    double m_fCo;
    double m_fCma;
    double m_fCch;
    double m_fCfb;
    double m_fCps;
    double m_fCpo;
    double m_fCpm;

    // 재화 중량
    // 요구 화물창 용적
    // 흘수
    // 선속 in Knots

    // 수선간 길이(LBP)
    // 형 폭(Bmld)
    // 형 깊이(Dmld)
    // 방형 계수(Block Coefficient)

    // 화물창 용적
    // 건현
    // 배수량
    // 경하 중량(Light Weight)

    // Appendage Factor(1 + alpha)
    // 선각 중량 계수
    // 의장부 중량 계수
    // 기관부 중량 계수
    // 화물창 용적 계수
    // 건현 계수
    // 건조비 추정을 위한 선각 중량 관련 계수
    // 건조비 추정을 위한 의장부 중량 관련 계수
    // 건조비 추정을 위한 기관부 중량 관련 계수

```

// 계속



Ship Class의 구현 예(2)

```

class Ship
{
public:
    // 선박 주요 치수에 대한 상하한값
    double m_fLower, m_fUpper;
    double m_fBlower, m_fLupper;
    double m_fDlower, m_fDupper;
    double m_fCblower, m_fCbupper;

    // 수선간 길이에 대한 하/상한값
    // 형 폭에 대한 하/상한값
    // 형 깊이에 대한 하/상한값
    // 방형 계수에 대한 하/상한값

    void CalculateParentShipData();
    double CalculateBuildingCost();
    double CalculateWS();
    double CalculateWO();
    double CalculateWM();
    double CalculateCC();
    double CalculateFB();

    // 기준선 정보로부터 관련 계수를 계산하는 함수
    // 건조비를 계산하는 함수
    // 선각 중량을 계산하는 함수
    // 의장부 중량을 계산하는 함수
    // 기관부 중량을 계산하는 함수
    // 화물창 용적을 계산하는 함수
    // 건현을 계산하는 함수

    double BuoyancyDisplacementCondition();
    double CCRequirementCondition();
    double FBRequirementCondition();
    double ObesityCoefficientCBCondition();
    double WGCBCCondition();
    void DVUpperLowerCondition(int DVNo, double* CF);

    // 부력-중량 평형 조건을 계산하는 함수
    // 화물창 요구 조건을 계산하는 함수
    // 건현 요구 조건을 계산하는 함수
    // 조종성 관점에서의 비만 계수 요구 조건
    // Watson & Gilfillan에 의한 Cb 추천값
    // 설계 변수의 상하한값에 대한 조건을 계산하는 함수
};
    
```

