

# 2009년 창의적 선박설계 기말고사 Part 1.

일시: Part I. 2009년 6월 18일 목요일 오전 9시 ~ 오후 1시 (4H)  
 Part II. 2009년 6월 18일 목요일 오후 2시 ~ 오후 5시30분 (3H30M)  
 Part III. 2009년 6월 18일 목요일 오후 6시30분 ~ 오후 9시30분(3H)

<3,700 TEU Container Ship을 기준선으로 한 4,100TEU Container 설계>

## 설계 요구사항

주요요목	기준선 (3700TEU)	설계호선
<b><u>Main Dimensions</u></b>		
LOA	257.4 m	
LBP	245.24 m	
B mld	32.2 m	32.25 m 이하
D mld	19.3 m	
d(design)	10.1 m	Abt. 11 m
d(scant.)	12.5 m	Abt. 12.5 m
<b><u>Deadweight</u></b>		
(design/scant.)	34,300/50,200 MT	49,000 mt ~ 51,000mt at scant. draught
<b><u>Capacity</u></b>		
Container on deck/in hold	2,174 TEU / 1,565 TEU	Abt. 4,100TEU
Ballast water	13,800 m <sup>3</sup>	11,500 m <sup>3</sup>
Heavy fuel oil	6,200 m <sup>3</sup>	
Marine diesel oil	400 m <sup>3</sup>	
Fresh water	360 m <sup>3</sup>	
<b><u>Main Engine &amp; Speed</u></b>		
M/E type	Sulzer 7RTA84C	
MCR (BHP * rpm)	38,570 * 102	
NCR (BHP * rpm)	34,710 * 98.5	
Service speed at NCR	22.5 knots (11.5m)	23.0 knots
(design draught, 15% SM)	30,185 BHP	(design draught, 15% SM)
Daily FOC at NCR	103.2 MT	
Cruising range	20,000 N.M	Abt. 20,000 N.M
<b><u>Others</u></b>		
Complement	30 P.	30 P.
Crane 유무	Crane 있음	Crane 없음

## 시험 시 주어지는 자료:

### Part 1.

#### 1) 3700TEU 기준선 자료 중 관련 부분

- a) G/A (Part 1 종료와 동시에 견었다가 Part2 시작할 때 다시 제공)
- b) Typical Web section
- c) 선속에 따른 모형선 자항 Test 결과
- d) 선속에 따른 실선 자항 Test 결과

#### 2) Main Engine Catalog

#### 3) ICLL, 1966 자료 중 관련 부분 (건현 계산) in English version

# 이외의 자료 및 문제에 기재되지 않은 식에 대해서는 각자 알고 있어야 함.

혹시 위의 자료 중 배포되지 않은 자료가 있으면 시험감독에게 알릴 것.

#### 준비물:

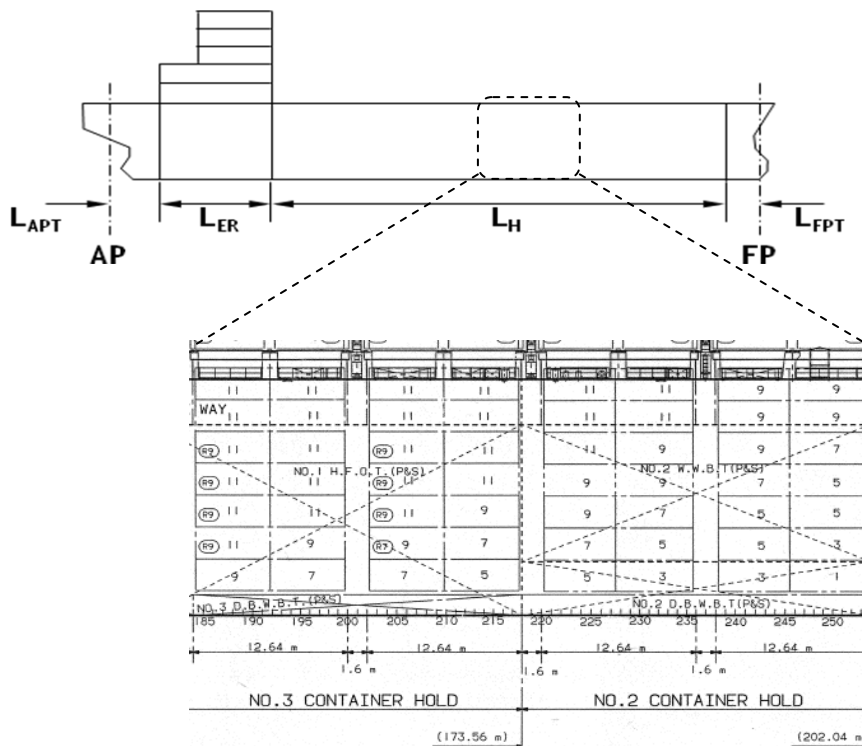
자, 계산기(행렬 계산 가능한 것), 필기구

# 1. Lagrange Multiplier를 이용한 Container선의 최적 주요치수 선정

3,700TEU 컨테이너선을 기준선으로 하여 4,100TEU를 실을 수 있는 컨테이너 선의 주요치수 (L,B,D,Ts,C<sub>B,S</sub>)를 결정 하고자 한다. 기준선의 Deck와 Hold의 컨테이너 비율을 이용하여 설계선의 Hold 내 Container 개수를 만족시키는 배의 주요치수를 결정하면, 전체 컨테이너 개수를 만족 시킬 수 있다고 가정한다. 다음설명을 참고하여 질문에 답하시오.

컨테이너선의 길이(L)와 폭(B), 깊이(D)는 다음과 같이 화물창 내에 배치하는 컨테이너의 개수에 따라 변화된다.

1) 길이



$L_H$ : 화물창의 길이

$L_{ER}$ : 엔진 룸의 길이 = 30.4 m

$L_{APT}$ : A.P. tank bulkhead부터 AP 까지의 길이 = 11.2m

$L_{FPT}$ : F.P. tank bulkhead부터 FP 까지의 길이 = 12.92m

$L_n$ : 화물창 내 길이방향 20ft bay 개수

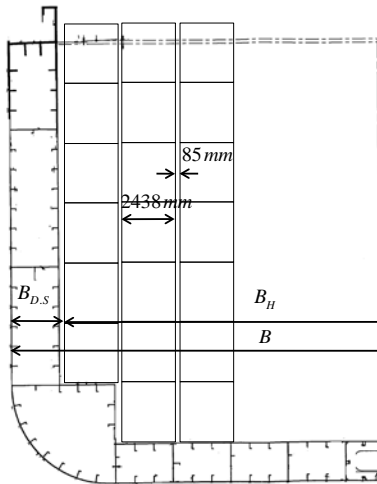
컨테이너 20ft bay 하나가 늘어날 때 마다 추가되어야 길이는, 20ft(6.32m)이고, 20ft bay 두 개 추가 될 때 마다 다른 bay와의 clearance는 1.6m이다. 따라서,

$$L_H = \left(6.32 + \frac{1.6}{2}\right) \cdot L_n = 7.12 \cdot L_n$$

$L_{APT}, L_{FPT}, L_{ER}$  은 기준선과 같은 값을 가진다고 가정한다.

$$\therefore L = L_H + L_{APT} + L_{ER} + L_{FPT} = 7.12 \cdot L_n + L_{APT} + L_{ER} + L_{FPT}$$

2) 폭



$B_H$  : 화물창의 폭

$B_{D.S}$  : Double side wing tank의 폭 = 2.08m

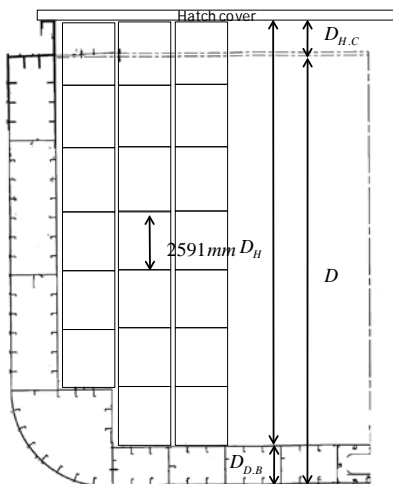
$Bn$  : 화물창 내 폭 방향 20'컨테이너 개수

컨테이너 하나가 늘어날 때 마다 추가되어야 폭은, 8 feet(2.438m)이고, 다른 컨테이너와의 clearance는 0.085m이다.

$$B_H = (2.438 + 0.085) \cdot Bn = 2.523 \cdot Bn$$

$$B = B_H + B_{D.S} = 2.523 \cdot Bn + 2 \cdot B_{D.S}$$

3) 깊이



$D_H$  : 화물창의 깊이

$D_{H.C}$  : Hatch coaming의 높이 = 1.147m

$D_{D.B}$  : Double bottom의 높이 = 2.310m

$Dn$  : 화물창 내 깊이방향 20feet 컨테이너 개수

컨테이너가 깊이 방향으로 하나 추가될 때 늘어나는 깊이는 8feet 6 inch(=2.591m)이다. 깊이방향 Clearance는 없다고 가정하면,  $D_H = (2.591 + 0) \cdot Dn$

$$D = D_H + D_{D.B} - D_{H.C} = 2.591 \cdot Dn + D_{D.B} - D_{H.C}$$

[문제] 3,700TEU 컨테이너선을 기준선으로 하여 4,100TEU를 실을 수 있는 컨테이너 선의 주요치수 (L,B,D,Ts,C<sub>B,S</sub>)를 결정 하고자 한다. 선주의 요구조건에 의해 폭(B)과 흘수(Ts)는 정해져 있을 때, 다음 사항을 고려하여 1) 길이방향 20ft 컨테이너 수(Ln)과 2) 깊이 방향 컨테이너 수(Dn), 3) 구조흘수에서의 방형계수(C<sub>B,S</sub>)를 결정 하시오. 이를 바탕으로 설계선의 4) 길이(L)과 5) 깊이(D)를 결정 하시오.

※ Given

$$\begin{aligned}
 B &= 32.2 \text{ m}, & Bn &= 11, & T_s &= 12.5 \text{ m}, \\
 C_s &= 8.684 \times 10^{-1}, & C_o &= 4.031 \times 10^{-1}, & C_m &= 4.787 \times 10^{-2}, \\
 C_{PS} &= 2,200, & C_{PO} &= 6,300, & C_{PM} &= 14,700 \\
 &(\text{선각중량당 건조비}) & &(\text{의장중량당 건조비}) & &(\text{기관부중량당 건조비}) \\
 C_{N.Hold} &= 7.817 \times 10^{-1} & \text{DWT}_{\text{설계선}} &= 51,000 \text{ ton},
 \end{aligned}$$

① Cargo hold 내에 적재되는 20 ft컨테이너의 개수가  $Ln \cdot Bn \cdot Dn$ 에 비례한다고 가정하였을 때, 다음의 요구 컨테이너 수 조건을 만족해야 한다.

$$N_{Hold.req} = C_{N.Hold} \cdot Ln \cdot Bn \cdot Dn$$

기준선과 동일한 비율로 Cargo hold에 컨테이너를 싣는다면, 설계선의 Hold 내 컨테이너 개수  $N_{Hold.req} = 1,600$ 를 만족시켜야 한다. Hold 내 요구 컨테이너 개수를 만족한다면, 전체 요구조건인 4100TEU를 만족시킬 수 있다고 가정한다.

② 이 때, 선박은 ‘부력(Buoyancy)-중량(weight) 평형조건’을 만족해야 한다.

③ 선박이 비대해지면, 저항성능이 나빠지게 되므로,  $C_{B,S} \leq 0.65$ 을 추천 한다.

④ 구하고자 하는 변수는 길이방향 컨테이너 bay 수(Ln), 높이방향 컨테이너 수 (Dn), 그리고 Cb 3개 이며, 조건 식은 요구 컨테이너 수 조건, 부력-중량 평형조건 2개인 등호 조건식과 (3)의 부등호 조건 식을 만족하여야 한다. 이 문제는 미지수의 개수 3개, 등호 조건 식 2개인 부정방정식이다. 따라서 무수히 많은 해가 있을 수 있으므로 그 많은 해 중에서 적절한 해를 선정하는 선정기준 즉, 목적함수가 정의되어야 하고, 목적함수를 최소화 하는 최적화 문제로 볼 수 있다. 여기서는 선박의 건조비를 목적함수로 가정하면 최소 건조비를 갖는 주요치수를 결정하는 최적설계문제가 된다

$$Building\ Cost = C_{PS} \cdot W_S + C_{PO} \cdot W_O + C_{PM} \cdot W_M$$

이때,

$$\text{선각중량}(W_S) \sim L^{1.6} \cdot (B + D)$$

$$\text{의장중량}(W_O) \sim L \cdot B$$

$$\text{기관부중량}(W_m) \sim NMCR$$

※문제가 복잡한 계산을 요하므로 여기서는 수계산이 가능하도록, 다음과 같이 간소화 한다.

① 선각중량이  $L^{1.6}$  에 비례  $\rightarrow L$  에 비례 한다고 가정 한다.

② 기준선과 설계선의 주기관은 동일하다.

따라서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{선각중량 } W_s = C_s \cdot L \cdot (B + D)$$

$$\text{의장중량 } W_o = C_o \cdot L \cdot B$$

$$\text{기관부중량 } W_m = C_m \cdot NMCR$$

※ 계산시 유의사항

- 유효숫자를 4자리로 계산 할 것.
- 계산된  $L$ 의 범위가 260~270 사이가 되도록  $Ln$ 값을 정수로 결정하시오.

## 2. 저항성능추정

3,700 TEU Container ship 모형선의 설계 흘수(design draft)에서의 정수(calm water)중의 저항,자항 성능 시험 결과가 아래 “Table10”에 제시되어 있다.

### 문제 2-1)

Froude Method 에 따라 저항을 분류하고, 모형선 저항시험 결과로부터 실선의 저항을 추정하는 과정을 설명하시오

### 문제 2-2)

설계선이 기준선의 모형선과 기하학적으로 상사할 때, 설계선의 선속이 23knots 일 때의 전체 저항을 Froude Method 에 따라 추정하시오.

Given :

- 기준선 3,700 TEU Container Carrier의 Design Draft에서의 저항 시험 결과
- ITTC 1957 추정식

$$\text{마찰저항계수} \quad C_F = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}$$

- 동점성계수  $\nu_{sea} = 1.18829 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\nu_{fresh} = 1.11545 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- 밀도  $\rho_{sea} = 1025.9 \text{ kg/m}^3$
- 모형선/실선 상관 계수  $C_A = -1.7 \times 10^{-4}$
- 공기저항계수  $C_{AA} = 0.001(A_{VT} / S)$

$A_{VT}$  : Transverse projected area above waterline

S : Wetted surface area

- 설계선의 침수 표면적은 기준선 자료로부터 합리적으로 추정 할 것

### 문제 2-3)

전저항 계수( $C_T$ )가 속도에 따라 크게 변하지 않는다고 가정하자. 설계선의 선속이 23knots일 때의 전저항 계수를 이용하여, 22knots, 24knot에서의 전체 저항을 구하시오.

### 3. 프로펠러주요치수 선정 및 주기관 선정 문제

문제 2에서 계산한 속도 별 저항 값과, 3,700 TEU Container ship의 설계 흘수(10.1m)에서의 정수(calm water) 중의 저항 성능 시험 결과를 이용하여 다음 문제에 답하시오.

Given : Engine Catalog, 속도 별 저항 계산 결과(2번 결과)

#### 문제 3-1) 프로펠러 주요치수 선정 stage.1

3,700TEU Container ship을 기준선으로 하여 4,100 TEU Container Ship을 설계 하려고 한다.

① MARIN B5.73 프로펠러 단독 성능 곡선이 다음과 같이 주어졌을 때, 설계선의 정수중 속력(23.0 knots)에서 최대 효율을 갖는 프로펠러의 주요치수(Pi)를 구하고, 그때의 주기관이 프로펠러에 전달하는 마력(DHP)과 그때의 회전수(n)을 구하시오.

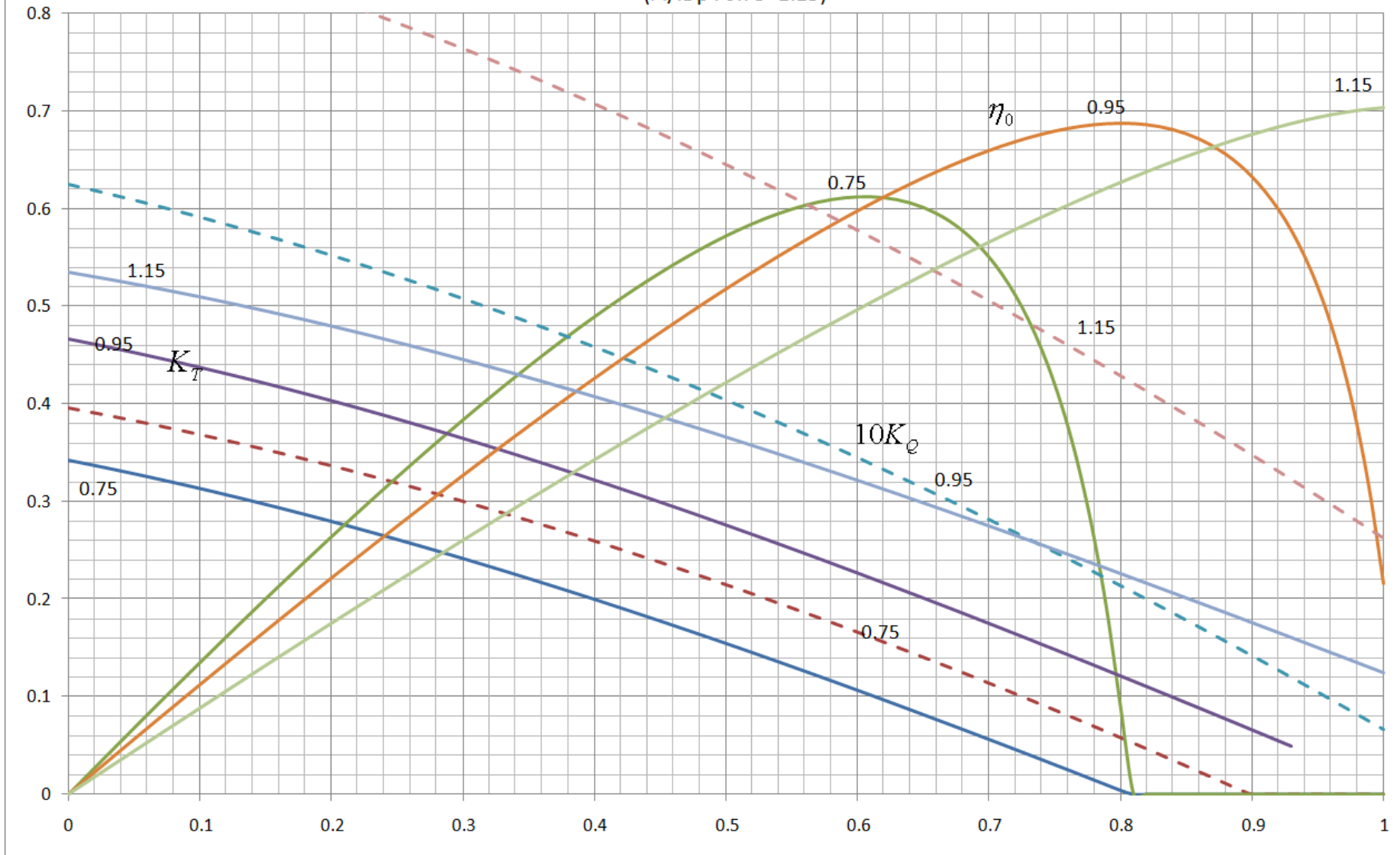
② Sea Margin(15%)과 Engine Margin(90%)을 고려하여, 프로펠러의 설계점을 결정하시오.

③ 기준선의 주기관(7RTA84C)을 설계선에 그대로 사용할 수 있는지를 Engine Layout Diagram을 작성하여 판단하시오. 만일 사용할 수 없다면, 새로운 엔진을 아래 표를 참조하여 선정하시오.

※설계선의 침수 표면적은 기준선 자료를 토대로 합리적으로 가정하시오.



MARIN B5.73 프로펠러 단독 성능 곡선(Ae/Ao=0.73)  
(Pi/.Dp : 0.75~1.15)



## Main data RTA84C

Cylinder bore	840 mm
Piston stroke	2 400 mm
Speed	82 - 102 rpm
Mean effective pressure at R1	17.9 bar
Piston speed	8.2 m/s
Fuel specification:	
Fuel oil	730 cSt/50°C 7 200 sR1/100°F ISO 8217, category ISO-F-RMK 55

Rated power: Propulsion Engines								
Cyl.	Output in kW/bhp at							
	102 rpm				82 rpm			
	R1		R2		R3		R4	
	kW	bhp	kW	bhp	kW	bhp	kW	bhp
6	24 300	33 060	17 040	23 160	19 500	26 520	17 040	23 160
7	28 350	38 570	19 880	27 020	22 750	30 940	19 880	27 020
8	32 400	44 080	22 720	30 880	26 000	35 360	22 720	30 880
9	36 450	49 590	25 560	34 740	29 250	39 780	25 560	34 740
10	40 500	55 100	28 400	38 600	32 500	44 200	28 400	38 600
11	44 550	60 610	31 240	42 460	35 750	48 620	31 240	42 460
12	48 600	66 120	34 080	46 320	39 000	53 040	34 080	46 320

<그림 1> Wartsila Engine Catalog ( \_RTA84C Series)

## ENGINE DATA K90MC-C

Download [Installation Drawings for K90MC-C engine](#) in DXF and PDF formats.  
(Updated : 2003-09-01)

Select [turbochargers](#) for this engine type

Bore: 900 mm, Stroke: 2300 mm

Layout points		L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>
Speed	r/min	104	104	89	89
mep	bar	18.0	14.4	18.0	14.4
		kW	kW	kW	kW
6K90MC-C		27420	21900	23460	18780
7K90MC-C		31990	25550	27370	21910
8K90MC-C		36560	29200	31280	25040
9K90MC-C		41130	32850	35190	28170
10K90MC-C		45700	36500	39100	31300
11K90MC-C		50270	40150	43010	34430
12K90MC-C		54840	43800	46920	37560
<b>Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)</b>					
g/kWh		171	164	171	164
<b>Lubricating and Cylinder Oil Consumption</b>					
Lubricating oil		7.0 - 10 kg/cyl. 24 h			
Cylinder oil		0.7 - 1.2 g/kWh			

Cyl. No	6	7	8	9	10	11	12
L <sub>min</sub> mm	12447	14049	15651	18403	20005	21607	23209
H <sub>1</sub> mm	12800	12800	12800	12800	12800	12800	12800
H <sub>2</sub> mm	12600	12600	12600	12600	12600	12600	12600
H <sub>3</sub> mm	12375	12375	12375	12375	12375	12375	12375
A mm	1699	1699	1699	1699	1699	1699	1699
B mm	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286
E mm	1602	1602	1602	1602	1602	1602	1602
Dry Mass t*	986	1106	1253	1415	1561	1686	1826

\*The mass can vary up to 10% depending on the design and options chosen.

<그림 2> MAN B&W Engine Catalog ( \_K90MC-C Series)

### 문제 3-2 프로펠러 주요치수 선정 stage. 2

설계선의 프로펠러가 기준선의 프로펠러와 같은 날개 개수와 전개 면적비를 갖는다고 가정할 때, 최대 효율을 갖는 프로펠러의 주요치수(직경, 피치)와 그때의 속력을 구하시오. 프로펠러가 내는 추력과 선박이 요구하는 추력이 일치하지 않을 시, 속력을 0.5 knot 단위로 변경하여 iteration 하시오.  
(iteration 1회만 할 것)

Given : 프로펠러 날개 수( $z$ ), 주기관 마력( $P$ ), 회전수( $n$ ), 속도별 저항 ( $R_t$ )

Find: 설계선 Propeller 직경( $D_p$ ), Pitch( $P_i$ ) 속력( $v$ )

### 문제 3-3) 프로펠러 주요치수 선정 stage. 3

문제 (3-1)~(3-2)을 통해 결정된 프로펠러 주요치수와 문제2의 속도 별 저항 결과를 이용하여, 아래의 각각의 속력을 내기 위한 프로펠러 회전수 및 소요마력을 결정하고, Speed-Power Curve를 작성 하시오.

Given : 프로펠러 주요치수 ( $D_p$ ,  $P_i$ ,  $A_E/A_O$ ), 속력( $V$ ), 정수중 저항( $R_t$ )

Find : 22.0, 23.0, 24.0 Knots에서의  $n$ (프로펠러 회전수),  $P$ (소요마력)

## 4. 견현 계산 문제

ICLL기준에 따라 요구 견현과 최소 선수 높이를 계산하고, 설계선이 이를 만족하는지 검토하시오.

Given : ICLL 1966 자료 중 관련 부분 (견현 계산) in English version

3,700TEU Container ship의 견현계산 Table

3,700TEU Container ship의 G/A

### [견현용 길이( $L_f$ )의 경험식]

초기 설계 단계에서 견현 길이( $L_f$ )가 확정되지 않은 경우, 다음 경험식을 이용하여 추정할 수 있다.

$$L_f = [0.85 \cdot D_{mld} - (T_s + 1)] \cdot 0.6248 + L_{bp}$$

### [ $0.85 \cdot D_{mld}$ 에서의 $C_b$ 추정식(Kanda의 식)]

$$C_b = C_{bo} \cdot (0.85 \cdot D/T)^{(C_{wo}/C_{bo}-1)}$$

where,  $C_{wo} = (1 + 2 \cdot C_{bo})/3$

$C_{bo}$  : 계획 만재 흘수에서의  $C_b$

$C_{wo}$  : 계획 만재 흘수에서의  $C_w$