

[2009][03]

Innovative Ship Design -Diesel Engine-

March 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>

Naval Architecture & Ocean Engineering



Characteristics of Diesel Engine (디젤 엔진의 특성)

서울대학교 조선해양공학과
이규열



Seoul
National
Univ.



SDAL

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



마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

디젤엔진의 특성

☑ 디젤엔진의 출력

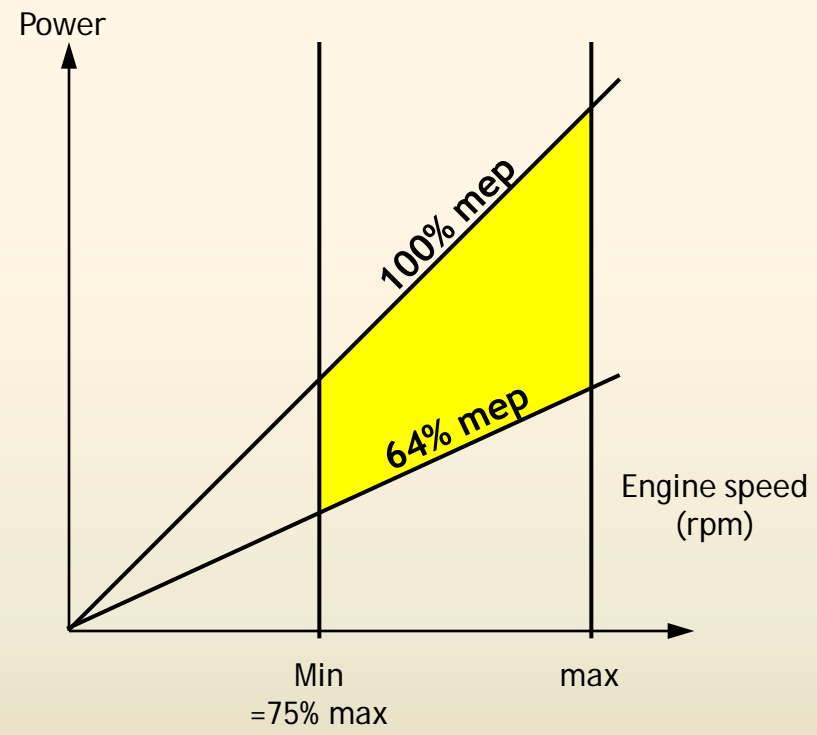
$$BHP = P_{me} \cdot L \cdot A \cdot n \cdot Z$$

여기서, BHP: Brake Horse Power(kW)
 P_{me} : Mean Effective Pressure
 평균 유효 압력 (kN/m²)
 L : 피스톤 행정 (Stroke)(m)
 A : 실린더 단면적 (m²)
 n : 매초회전수 (1/s)
 Z : 실린더수

A와 Z가 일정하다고 하면

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

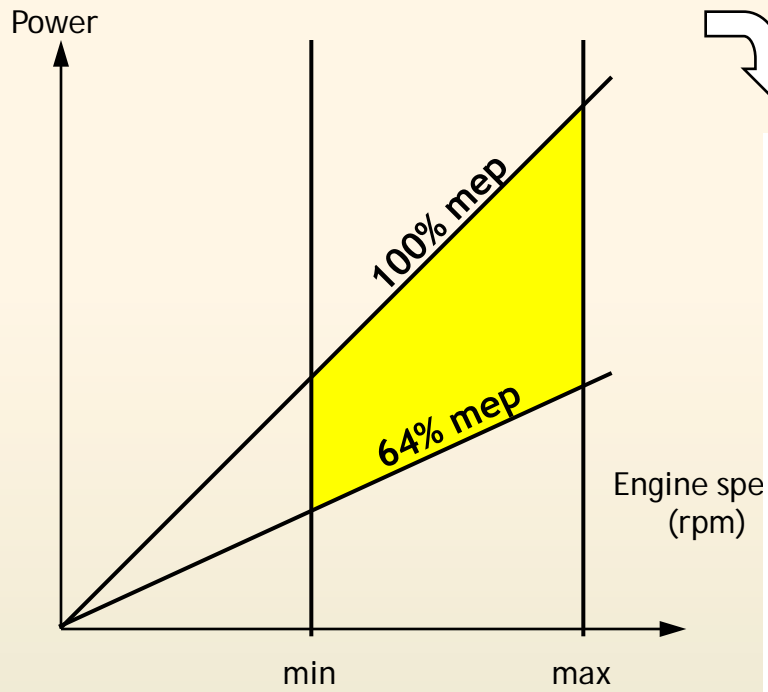
이므로 디젤엔진의 출력은 디젤엔진의 회전수와 평균 유효 압력에 비례함



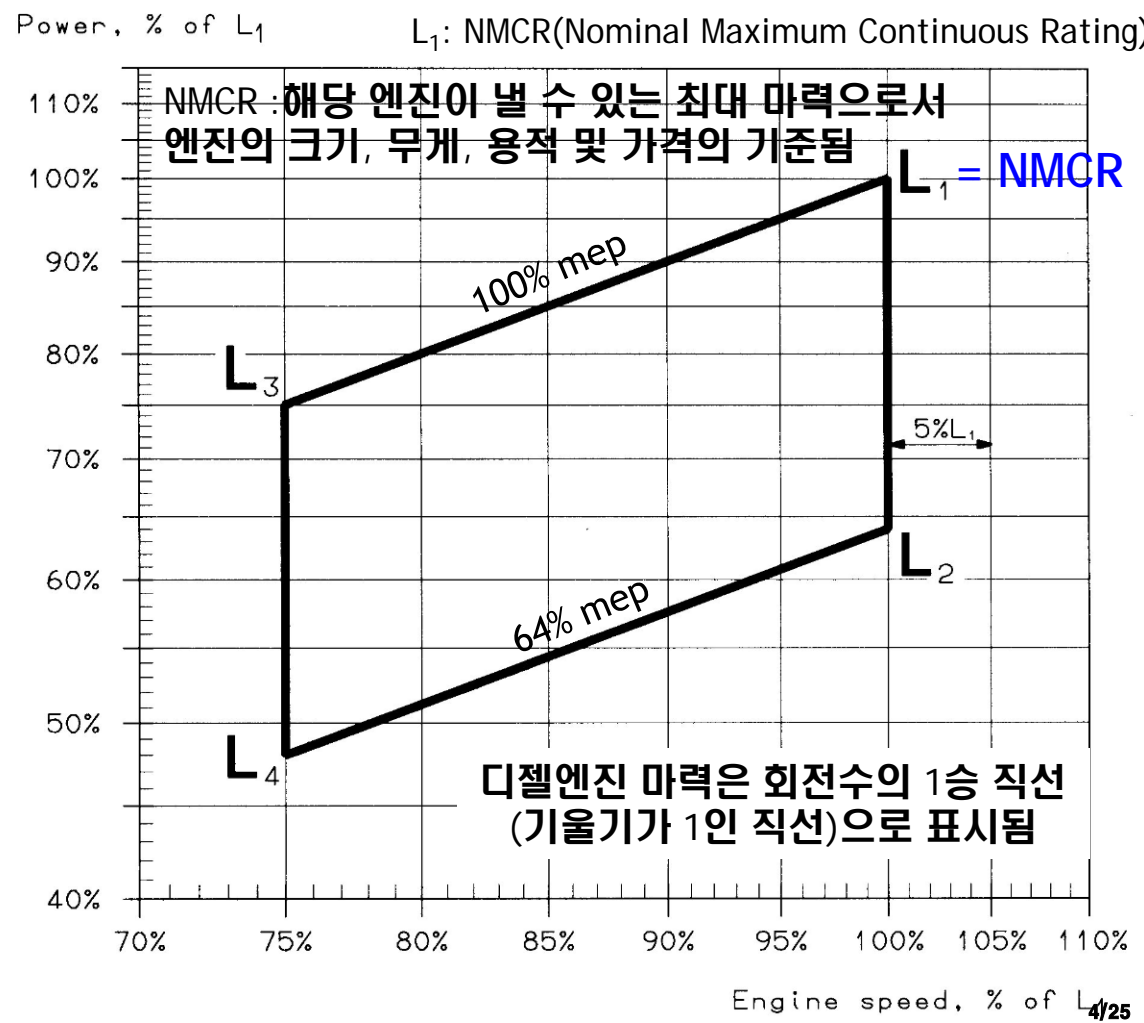
마력 주기 기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

디젤엔진의 특성(2)

-디젤엔진의 작동 범위(layout diagram)



대수 함수(logarithm)로 표현



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,
 R_1 은 NMCR에 해당하고, $R_1 = L_1, R_2 = L_3, R_3 = L_2, R_4 = L_4$ 임



마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

마력 정의(1)

-공칭 연속 최대 마력(NMCR; Nominal Maximum Continuous Rating)

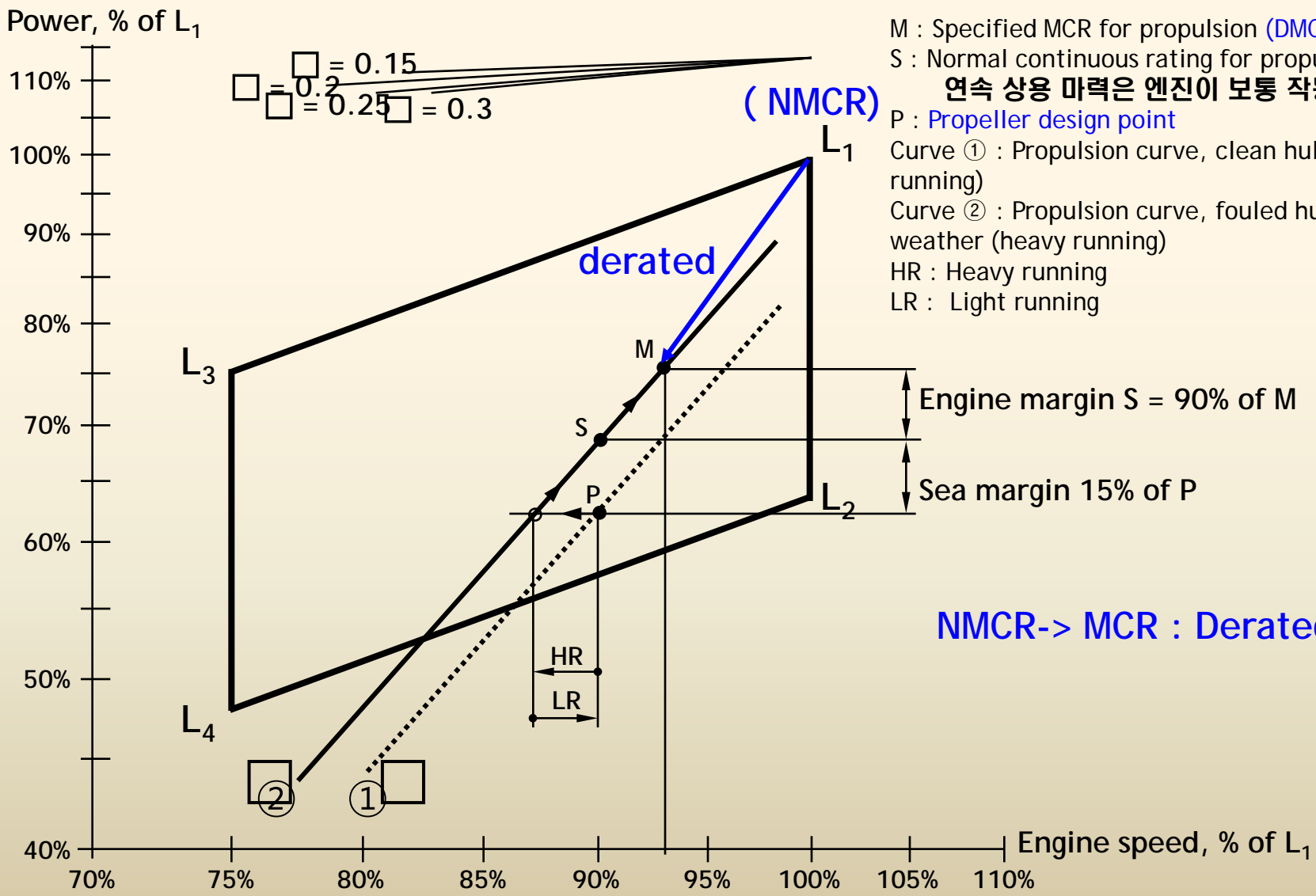
- ☑ 해당 엔진이 낼 수 있는 최대 마력으로서 엔진의 크기, 무게, 용적 및 가격의 기준됨
- ☑ 작동 범위의 제일 오른쪽 위 부분에 있는 점임. MAN/B&W 엔진의 경우 L1으로 표시하며, Waertsilae(Sulzer) 엔진의 경우 R1으로 표시함



마력 주기 관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

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



마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

마력 정의(3)

-연속 최대 마력(MCR; Maximum Continuous Rating)

- ☑ 해당 엔진이 연속적으로 작동되는 최대 마력임
- ☑ 작동 범위 내에서의 어떠한 점도 MCR이 될 수 있으나, MCR을 선정할 때는 마력과 회전수의 Derating 값(MCR, NMCR에서 마력과 회전수의 차이), 프로펠러 회전수, 연료 소비율, 그리고 프로펠러 작동 범위 등을 다 함께 고려해야 함
- ☑ 일단 MCR이 여러 가지 기준을 고려하여 작동범위 내에서 선정되면, 이에 따라 축계(shaft line)와 보조 기기(auxiliary equipment)의 치수가 결정되며, 이제부터는 NMCR이 아니라, MCR이 연속 최대 마력의 기준이 됨. 즉 모든 마력과 회전수의 기준은 MCR이 됨
- ☑ 한편, 일반적으로 110% 과부하는 12시간 당 1시간 동안 허용됨



마력 정의(4)

-연속 상용 마력(NCR; Nominal Continuous Rating)

- ☑ 정상 시 선박을 운항할 때 작동되는 엔진마력임
- ☑ 많은 선주는 필요 시(바람 및 바다의 상태, 선체의 상황 등) 여분의 속도 margin을 갖기 위해서 최대 90% 부하에서 기관이 연속적으로 작동하도록 엔진을 선정하기를 선호함. 이 경우, $NCR = 90\% MCR$ 임
- ☑ 여기서 margin(NCR과 MCR 사이의 차이)을 엔진 margin이라고 부르며 보통 10%임



마력 정의(5)

-Sea Margin

- ☑ **Sea margin**은 바람과 해상의 영향을 고려하여 마력의 여유분을 표현한 것임. 즉, 잔잔한 기상과 거친 기상에서 요구되는 마력 사이의 차이를 말함

- ☑ 이것은 명확히 정의된 값이 아니라 조선소나 선주에 의해 선정된 여분의 margin으로 표현됨. 약 15% 마력에 대한 margin을 포함하는 것이 보통임

- ☑ 참고로, **Light/Heavy running**은 선체와 프로펠러의 거칠어짐에 대한 프로펠러 회전수의 여유분으로 표현한 것임
 - Light running margin(RPM margin)의 기준
 - MAN/B&W 엔진 : 2.5 ~ 5.0%
 - Sulzer 엔진: 3.5 ~ 5.3%



디젤엔진의 부하 범위(Load Diagram)

- ☑ MCR이 정해지면, 이 MCR를 기준으로 그 디젤엔진이 연속적으로 작동(continuous operating)할 수 있는 마력과 회전수의 범위가 정해짐


- ☑ 이러한 디젤엔진의 마력과 회전수의 실제 연속적인 작동 범위를 “부하 범위(Load Diagram)”이라고 함

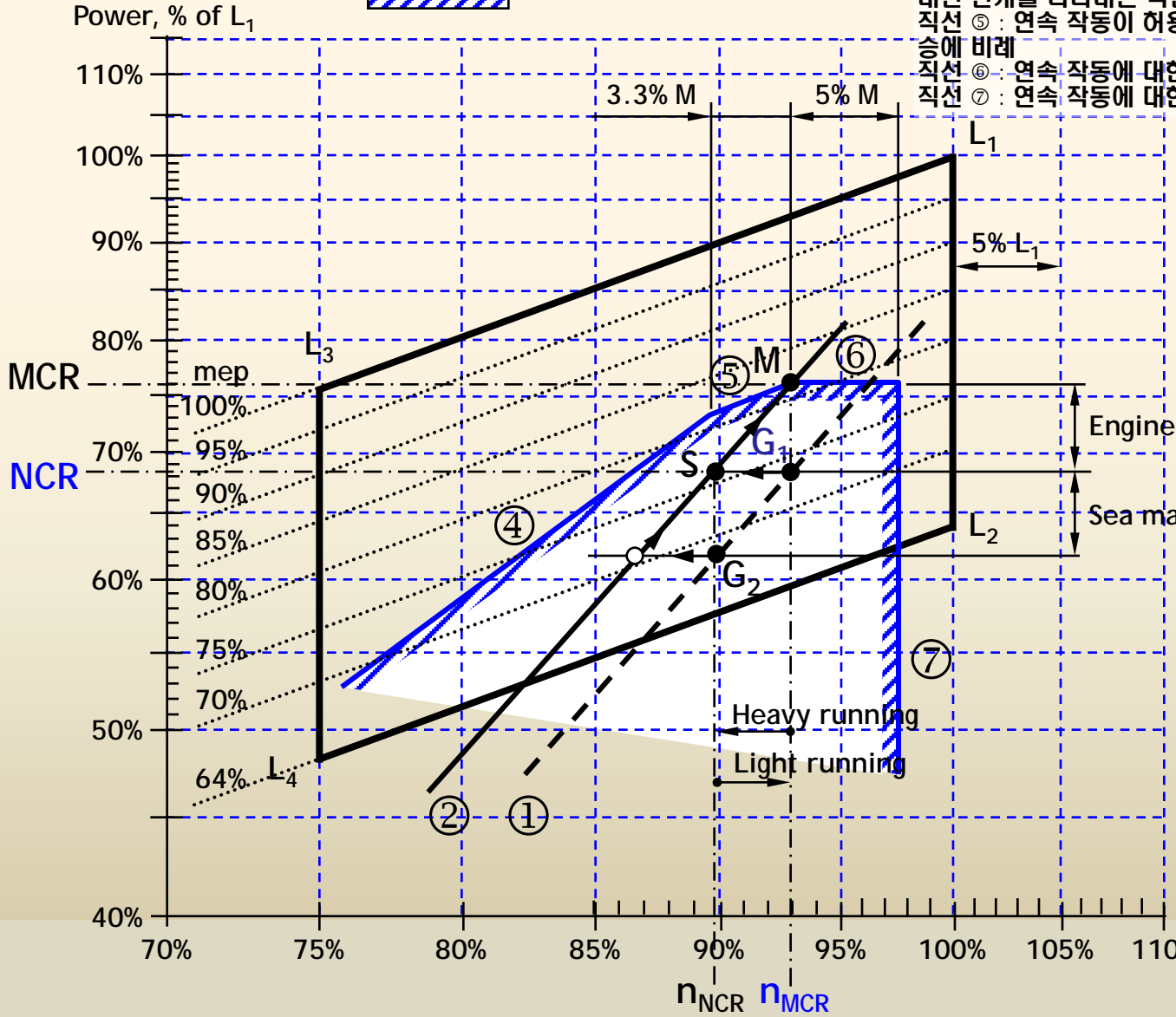
- ☑ 즉, 부하 범위는 엔진의 연속적인 작동에 대한 마력/회전수의 한계를 정의함



디젤엔진의 부하범위와 프로펠러와의 Matching

M : Maximum continuous rating (DMCR 또는 MCR)
 S : Normal continuous rating (NCR)
 G₁, G₂ : 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 토크/회전수에 대한 한계를 나타내는 직선, 회전수의 2승에 비례
 직선 ⑤ : 연속 작동이 허용되는 최대 평균 유효 입력 직선, 회전수의 1승에 비례
 직선 ⑥ : 연속 작동에 대한 최대 마력 직선
 직선 ⑦ : 연속 작동에 대한 최대 회전수 직선

 디젤 기관의 연속 작동 범위



Engine margin S = 90% of M
 Sea margin of G₂

✓ 프로펠러가 흡수하는 마력 :

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

✓ 디젤엔진이 내는 마력 :

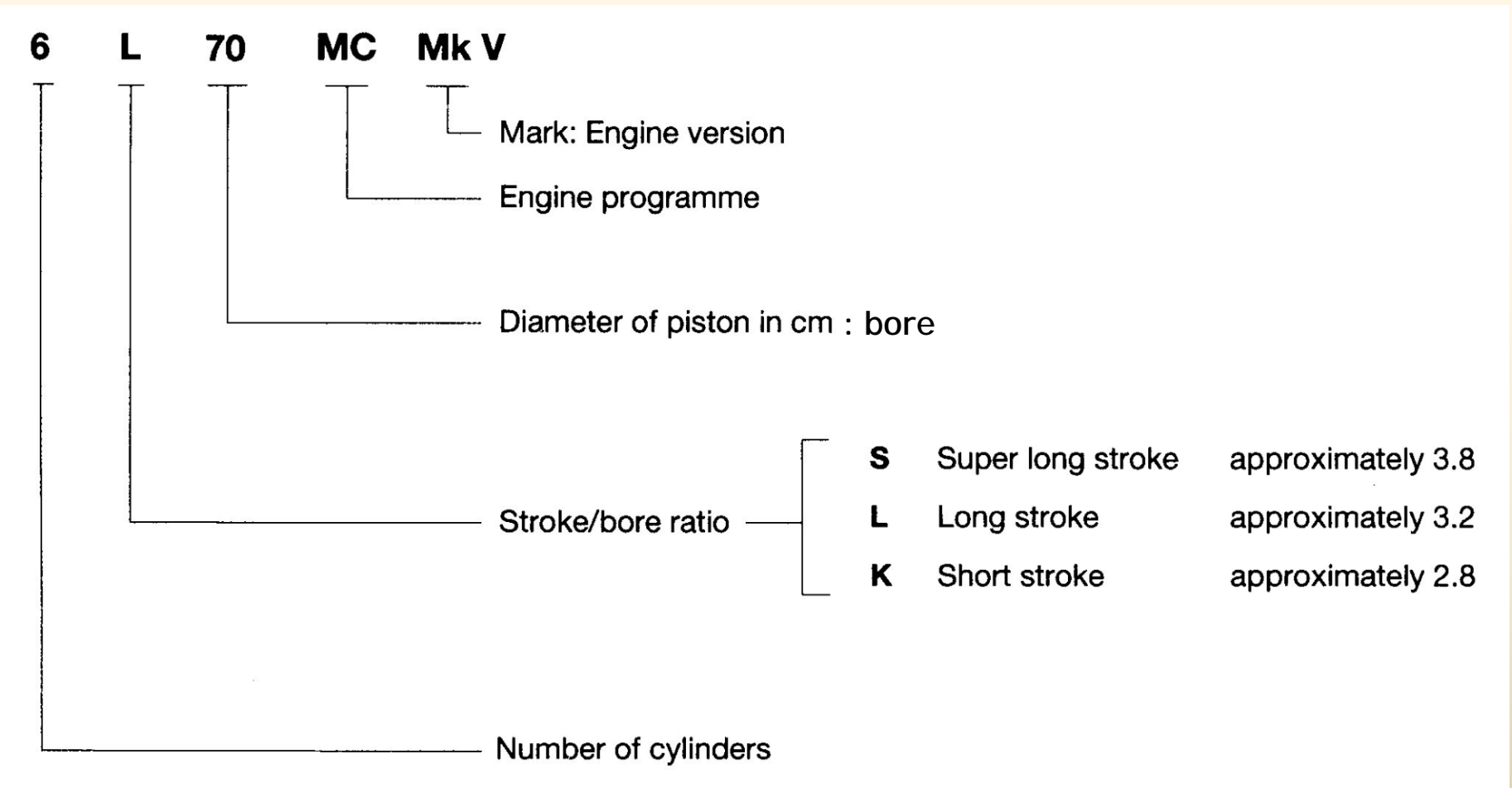
$$P_{D.E.} \propto n$$

디젤엔진의 종류

- ☑ 선박용 대형 디젤엔진 제작회사는 독일의 MAN/B&W회사와 Finland의 Waersila 회사(스위스의 Sulzer 회사를 인수)가 대표적인 세계적인 대형 박용디젤엔진 제작사(대부분 개발 업무)이며, 그 이외의 대부분의 회사는 이 두 회사와 기술 협력에 의해 엔진을 생산하고 있음

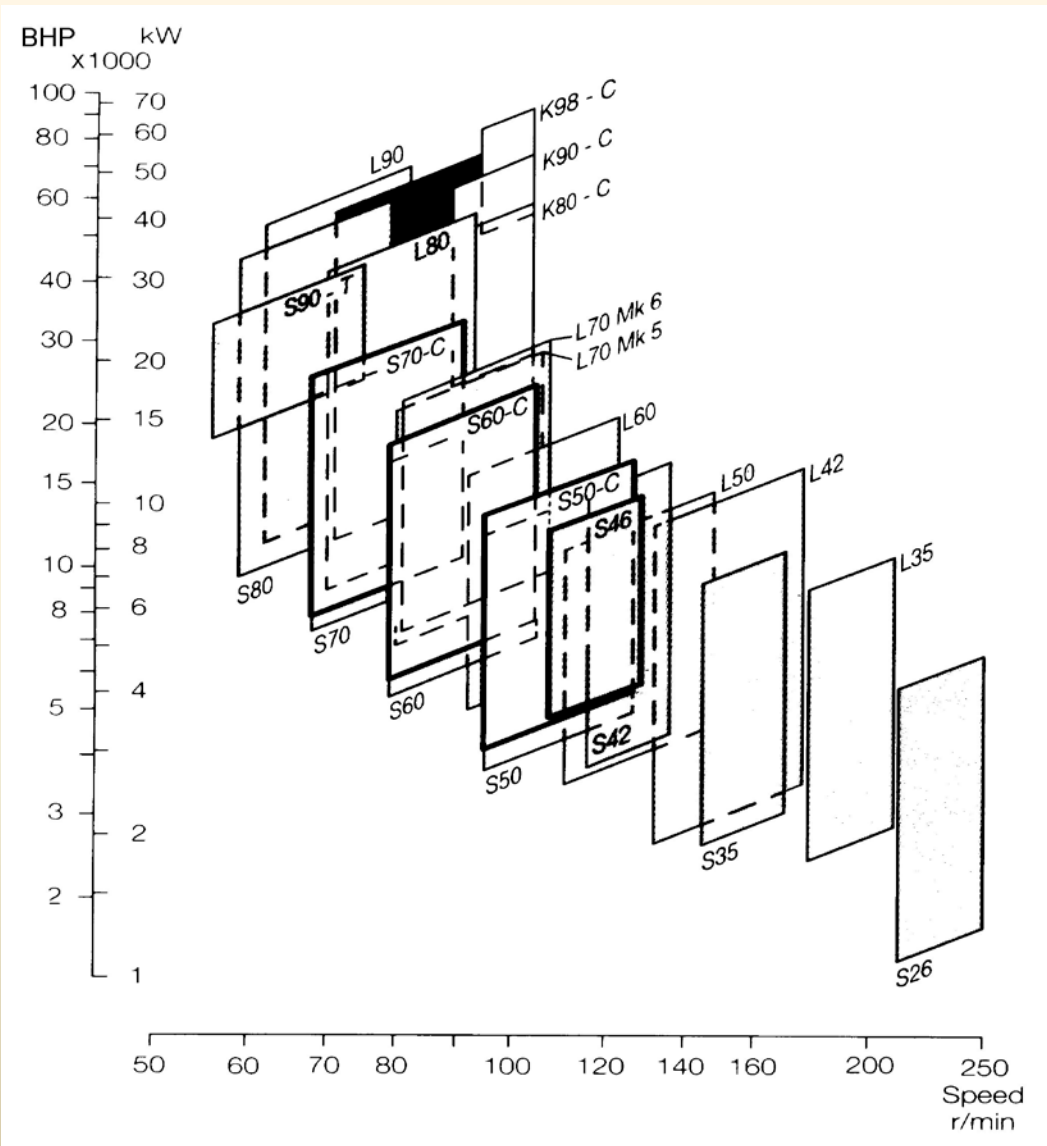


MAN/B&W 대형 디젤엔진의 종류(1)



마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

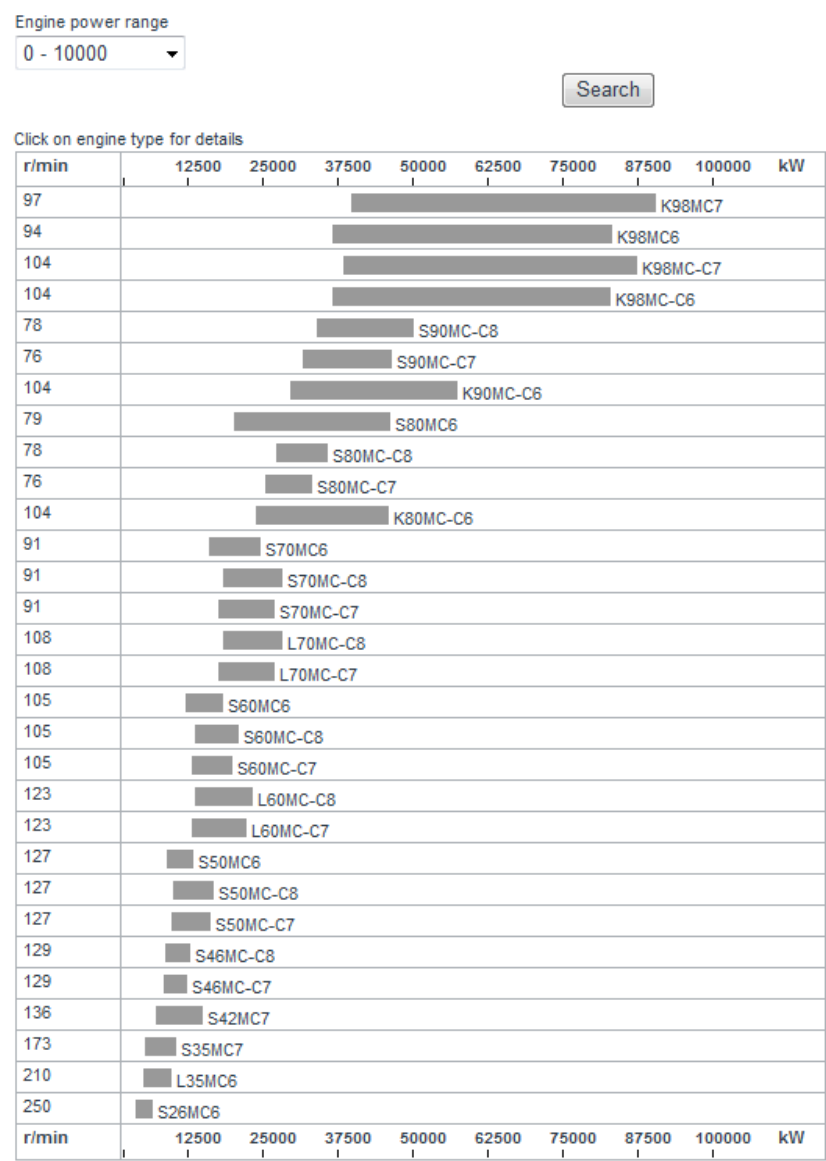
MAN/B&W 대형 디젤엔진의 종류(2)



출처: Two-stroke Engines MC programme 1996, MAN/B&W



MAN/B&W 대형 디젤엔진의 종류(3)



출처: Two-stroke Engines MC Programme 2007, (MAN/B&W
[http://www.manbw.com/engines/TwoStrokeLowSpeedPr
opEnginesProgram.asp](http://www.manbw.com/engines/TwoStrokeLowSpeedProgramEnginesProgram.asp))



MAN/B&W사의 2행정 저속 박용 디젤엔진의 마력과 회전수 및 연료 소모율의 예

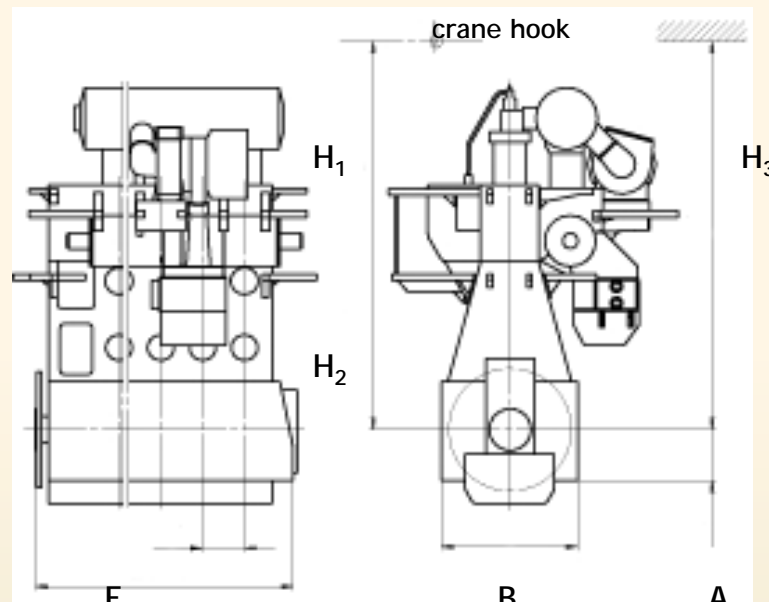
S80MC6 엔진

Bore: 800 mm, Stroke: 3056 mm

Main Data					
Layout points		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
Speed	r/min	79	79	59	59
mep	bar	18.0	11.5	18.0	11.5
		kW	kW	kW	kW
5S80MC6		18200	11650	13600	8700
6S80MC6		21840	13980	16320	10440
7S80MC6		25480	16310	19040	12180
8S80MC6		29120	18640	21760	13920
9S80MC6		32760	20970	24480	15660
10S80MC6		36400	23300	27200	17400
11S80MC6		40040	25630	29920	19140
12S80MC6		43680	27960	32640	20880
Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)					
g/kWh		167	155	167	155
Lubricating and Cylinder Oil Consumption					
Lubricating oil		0.15 g/kWh			
Cylinder oil		0.7 g/kWh			



MAN/B&W사의 2행정 저속 박용 디젤엔진의 주요 치수와 엔진 중량의 예



S80MC6 엔진 -
Bore: 800mm, Stroke: 3,056mm

H₁: Normal lifting procedure
H₂: Reduced height lifting procedure
H₃: With electrical double jib crane

Main dimensions & weights								
Cyl. No	5	6	7	8	9	10	11	12
L _{min} mm	9953	11377	12581	14005	16719	18143	19567	20991
H ₁ mm	14125	14125	14125	14125	14125	14125	14125	14125
H ₂ mm	13250	13250	13250	13250	13250	13250	13250	13250
H ₃ mm	12925	12925	12925	12925	12925	12925	12925	12925
A mm	1736	1736	1736	1736	1736	1736	1736	1736
B mm	4824	4824	4824	4824	4824	4824	4824	4824
E mm	1424	1424	1424	1424	1424	1424	1424	1424
Dry Mass t*	777	885	996	1105	1223	1343	1458	1564

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



프로펠러와 디젤엔진의 관계

- ☑ **프로펠러 회전수, 프로펠러 효율, 디젤엔진의 크기**
 - 프로펠러 회전수가 증가하면 최적의 프로펠러 직경은 작아지고, 프로펠러 효율은 감소함
 - 프로펠러 회전수를 증가시키면 작은 엔진을 선정할 수 있음

- ☑ **디젤엔진 선정 시 고려 사항**
 - 프로펠러의 효율
 - 기관실의 중량
 - 기관실의 공간 배치
 - 초기 투자비(대형 저속 디젤엔진의 가격: 약 180\$/PS (1998년도 기준))
 - 작동 비용



디젤 엔진과 프로펠러의 마력과 회전수 "Matching"

마력 주기 관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

디젤엔진이 내는 마력

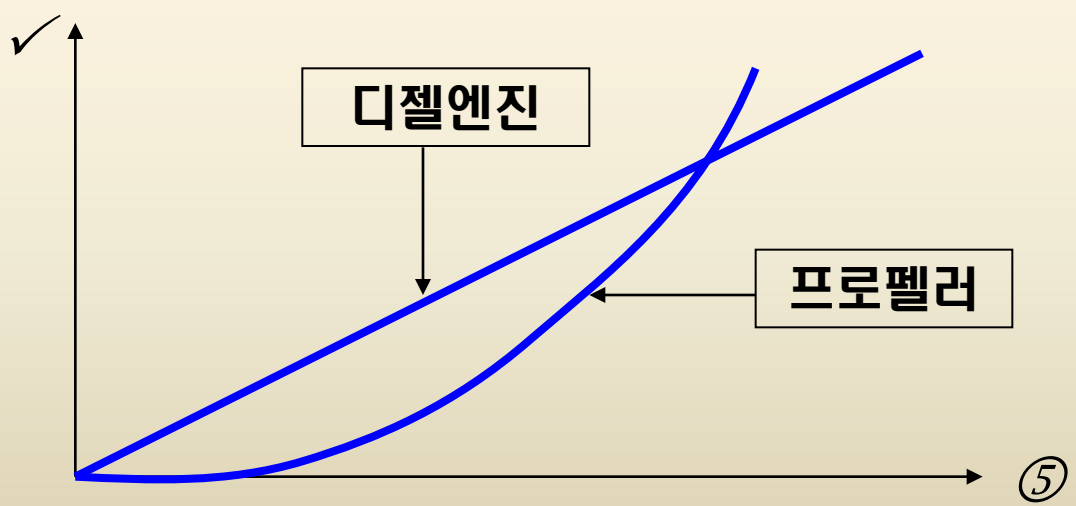
$$P_{D.E.} = P_{me} \cdot A \cdot L \cdot n \cdot Z$$

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

프로펠러가 내는 마력


$$P_{prop.} = 2\pi\rho \cdot n^3 \cdot D_P^5 \cdot K_Q$$

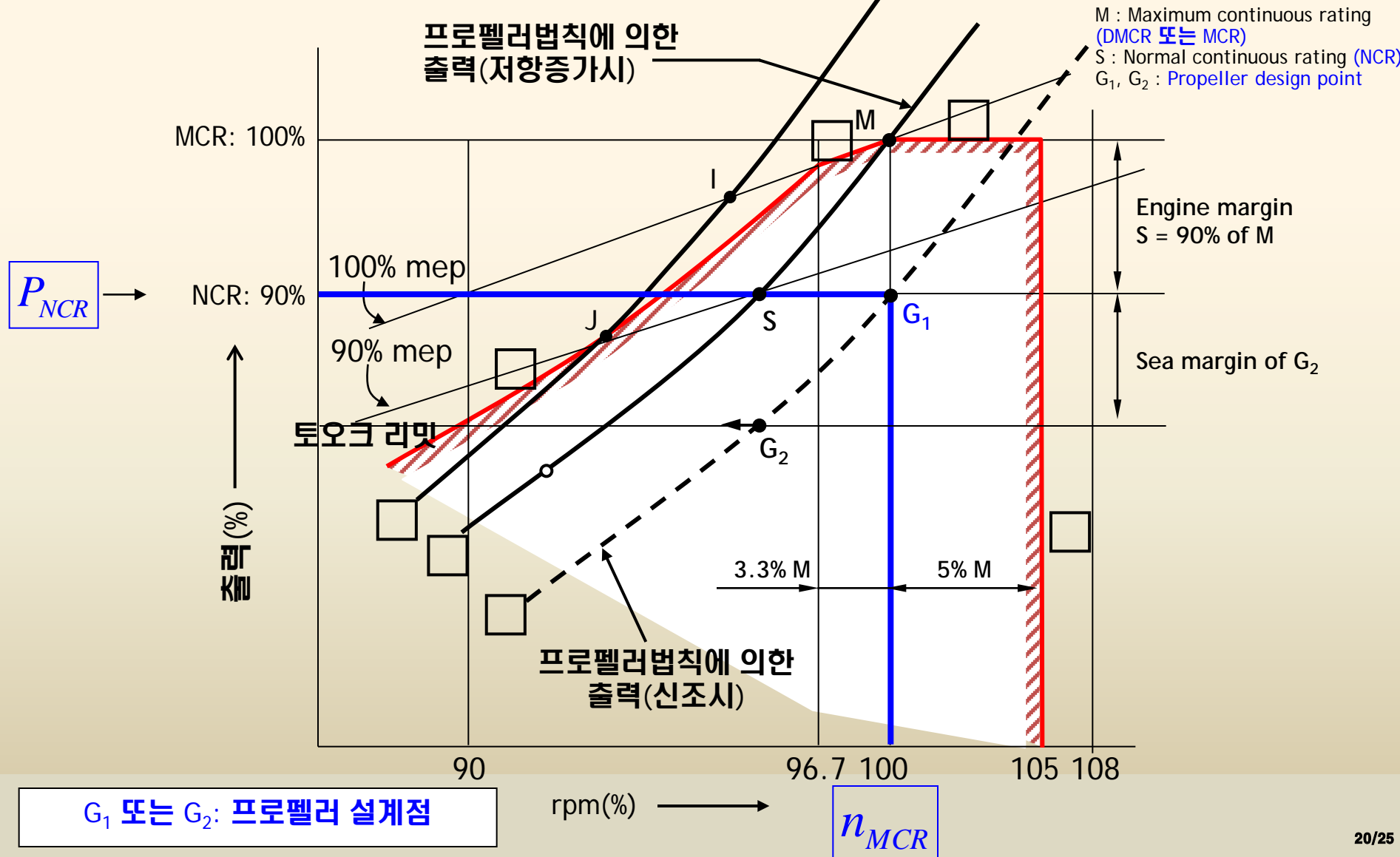
$$P_{prop.} \propto n^3$$



디젤엔진과 프로펠러의 Matching

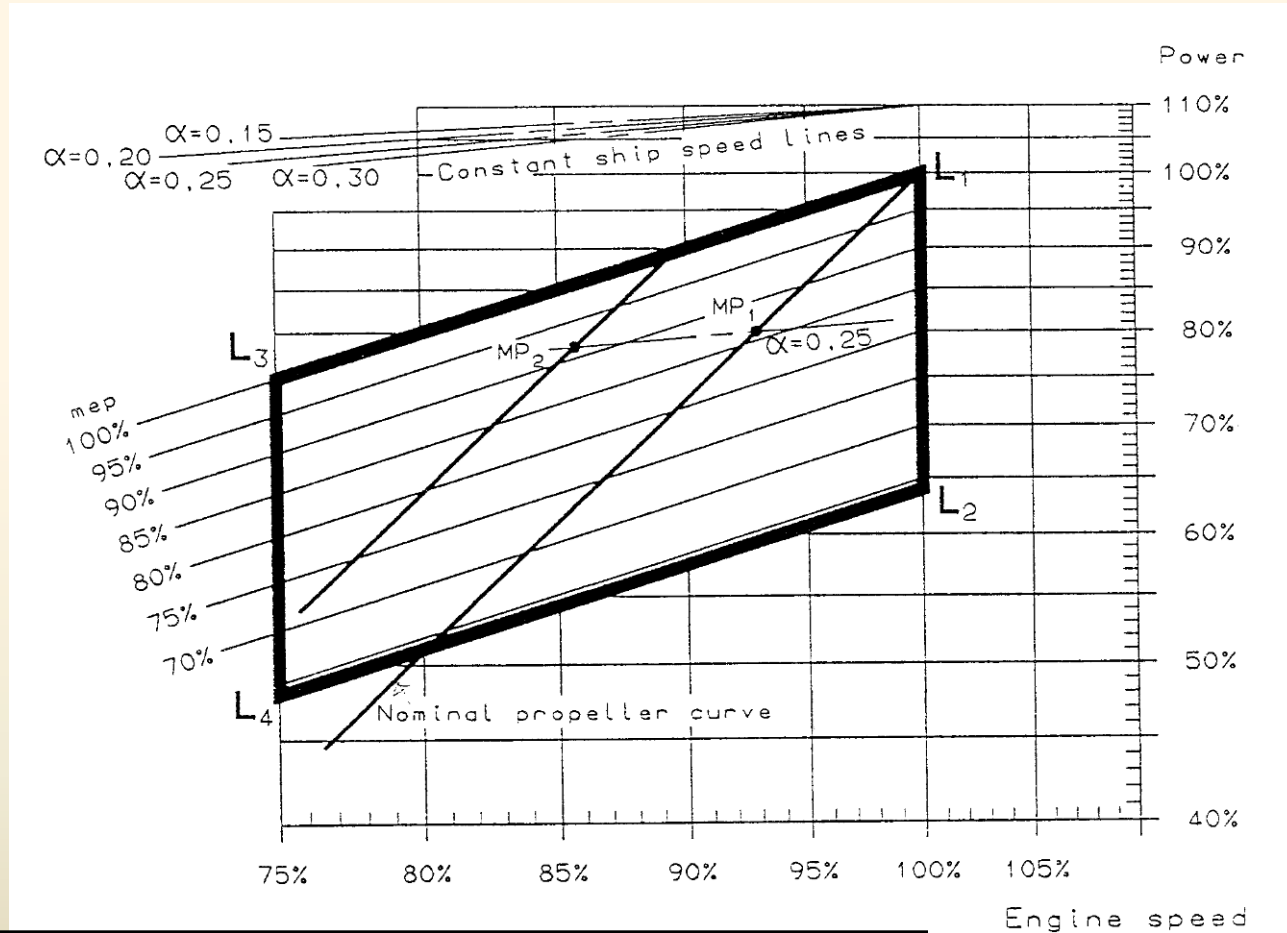
- 곡선 ① : 신조시 선박의 저항을 기준으로 한 프로펠러의 마력-회전수 곡선(light running)
- 곡선 ② : Sea margin을 고려한 선박 저항 증가시 프로펠러의 마력-회전수 곡선(heavy running), 회전수의 3승에 비례
- 직선 ④ : 연소시 풍부한 공기 공급이 가능하고 최대 토크/회전수에 대한 한계를 나타내는 직선, 회전수의 2승에 비례
- 직선 ⑤ : 연속 작동이 허용되는 최대 평균 유효 압력 직선, 회전수의 1승에 비례
- 직선 ⑥ : 연속 작동에 대한 최대 마력 직선
- 직선 ⑦ : 연속 작동에 대한 최대 회전수 직선

 디젤엔진의 연속 작동 범위



동등 선속 직선을 이용한 MCR 대안 비교

마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정



MCR 선정 시 고려 사항 :

- 작은 기관 마력과 낮은 기관 회전수
- 마력과 회전수의 Derating 값 (DMCR과 NMCR과의 마력과 회전수의 차이)
- 연료 소비율
- 프로펠러 작동 범위

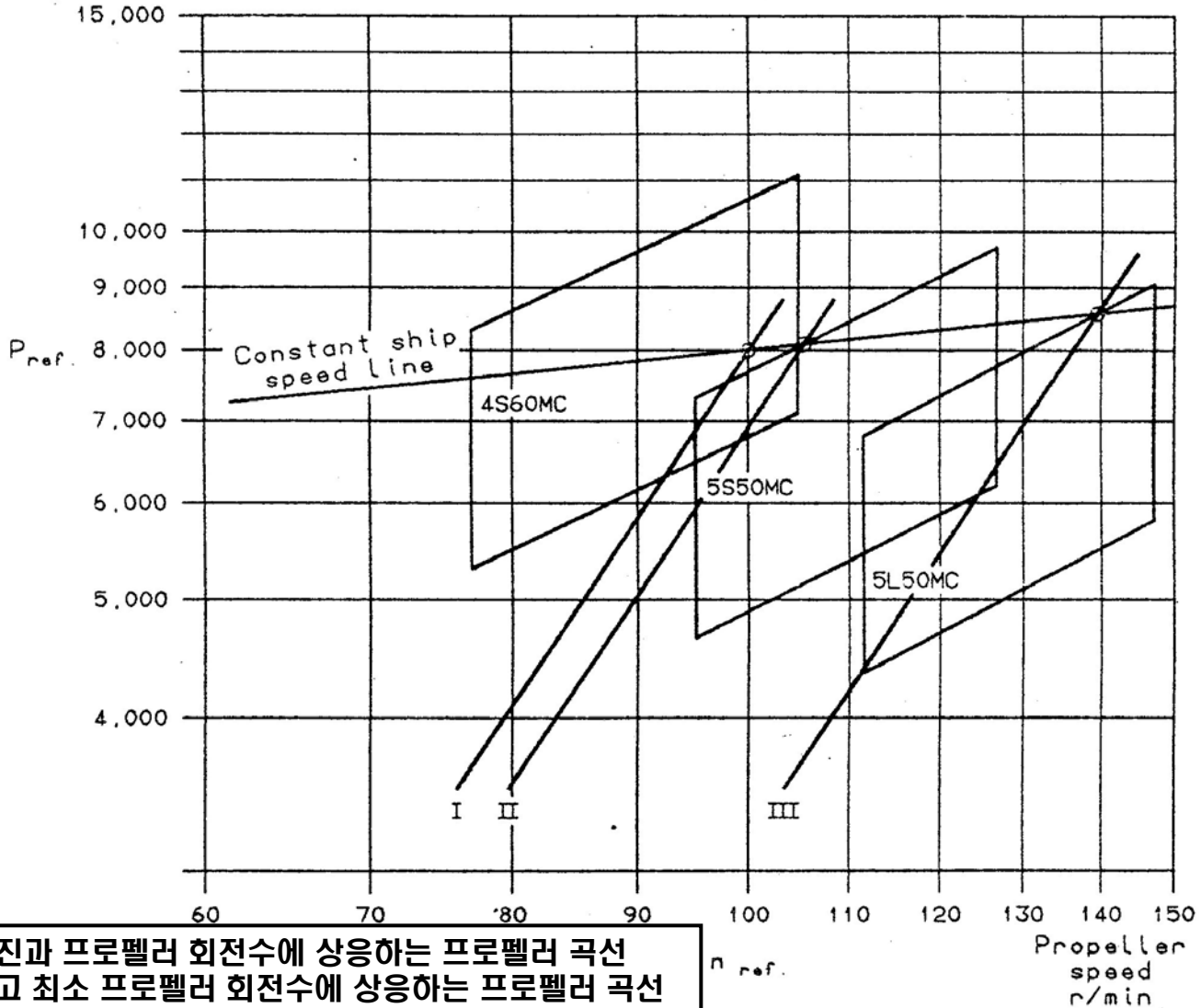


마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

동등 선속 직선을 이용한 엔진 종류 선정 대안 비교

Installed power BHP

재화 중량 30,000톤급 선박의 기준 마력(8,000BHP□100rpm)에 대한 다른 엔진 선정 대안을 100~150 rpm사이에서 찾는 예

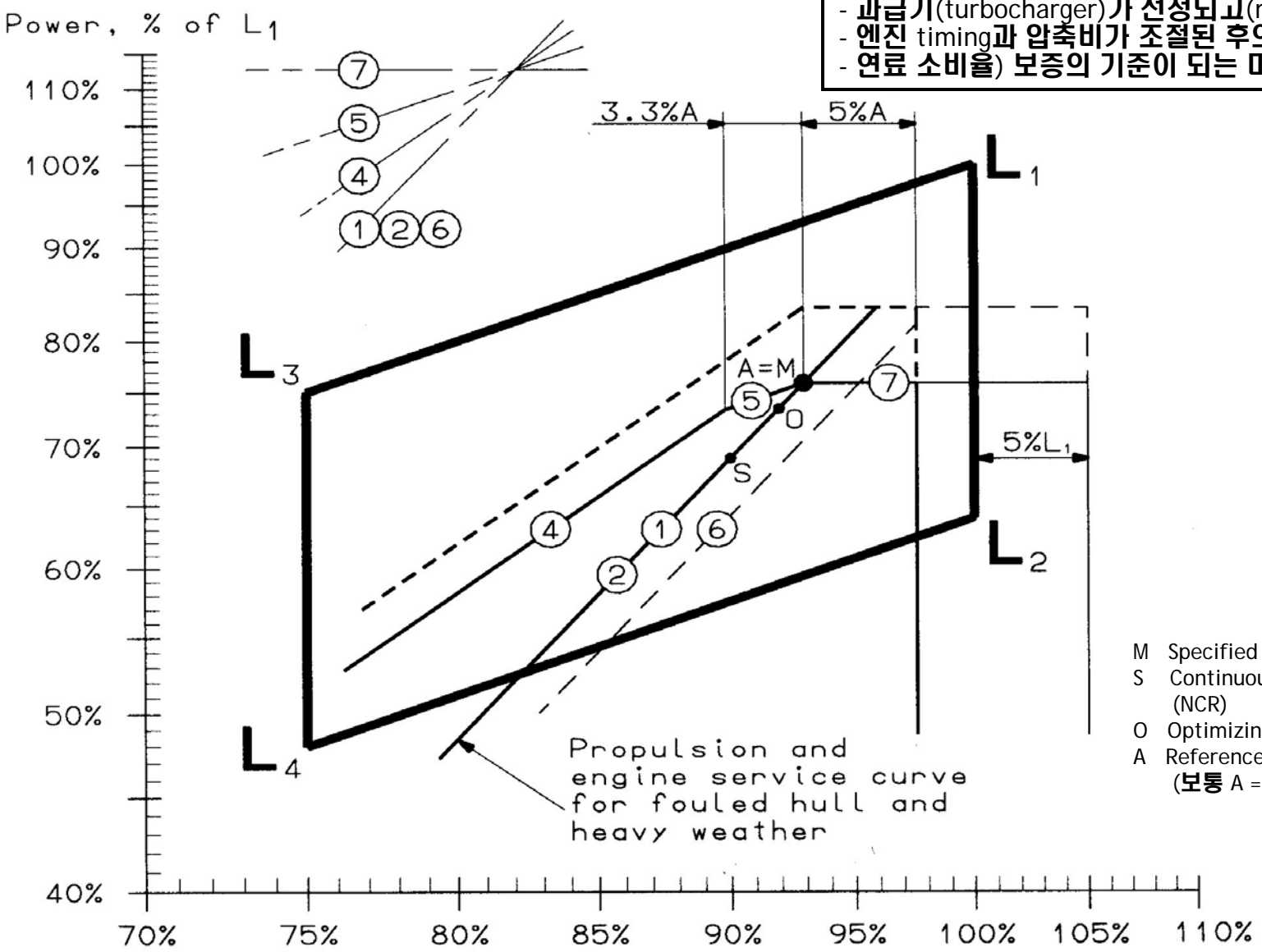


- I: 기준 4S60MC 엔진과 프로펠러 회전수에 상응하는 프로펠러 곡선
- II: 5S50MC를 가지고 최소 프로펠러 회전수에 상응하는 프로펠러 곡선
- III: 5L50MC를 가지고 최소 프로펠러 회전수에 상응하는 프로펠러 곡선

연료 소비율을 고려한 최적의 엔진 작동점

연료 소비율을 고려한 엔진의 작동점("최적점 O")은

- 과급기(turbocharger)가 선정되고(matched),
- 엔진 timing과 압축비가 조절된 후의
- 연료 소비율) 보증의 기준이 되는 마력



- M Specified MCR of engine (MCR)
- S Continuous service rating of engine (NCR)
- O Optimizing point of engine (O)
- A Reference point of load diagram (보통 A = M)

* 연료 소모율: SFOC(Specific Fuel Oil Consumption)

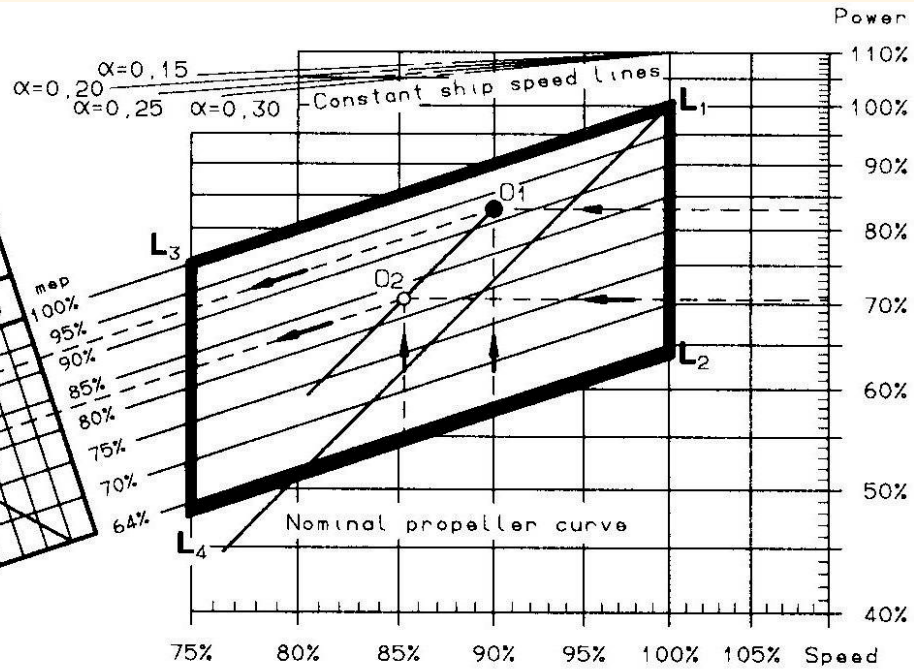
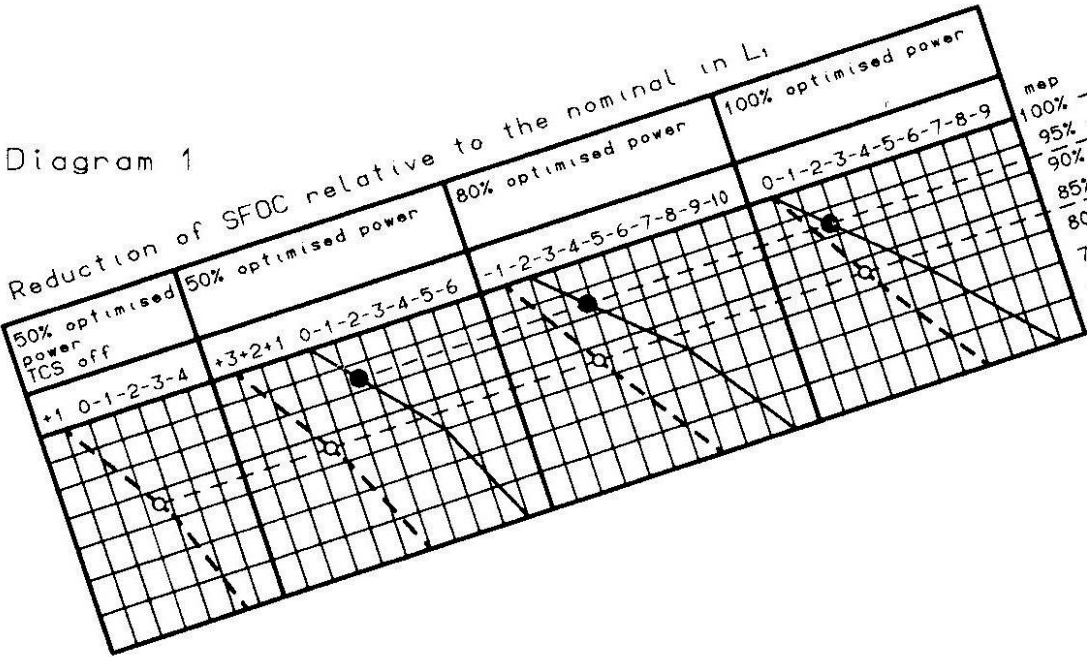
Engine speed, % of L₁

연료 소비율을 고려한 최적의 엔진 작동점

-("최적점 O") 선정 예(1)

마력 주기 기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

Diagram 1



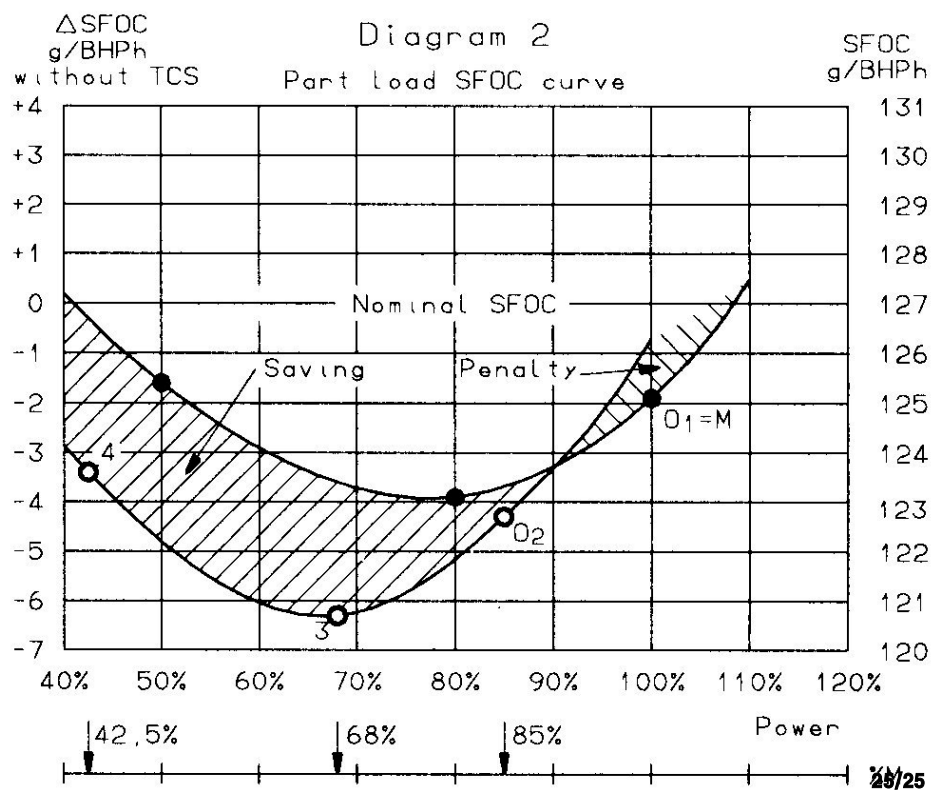
연료 소비율을 고려한 최적의 엔진 작동점

("최적점 O") 선정 예(2)

Data at nominal MCR (L ₁):	
Power: 100% (L ₁)	21,360 BHP
Speed: 100% (L ₁)	106 r/min
Nominal SFOC	127 g/BHPH

Data of optimising point (O):	O ₁	O ₂
Power: 100% of (O)	17,730 BHP	15,100 BHP
Speed: 100% of (O)	95.4 r/min	90.1 r/min
SFOC found:	125 g/BHPH	122.6 g/BHPH

L70MC	Nominal SFOC in g/BHPH at nominal MCR (L ₁)
Conventional turbochargers	127
High efficiency turbochargers	125
High efficiency turbochargers and TCS	min. 122



O₁: Optimised in M
O₂: Optimised at 85% of power in M
Point 3: is 80% of O₂ = 0.80 x 0.85 of M = 68% M
Point 4: is 50% of O₂ = 0.50 x 0.85 of M = 42.5% M