論 文

大 韓 造 船 學 會 論 文 集
第 30 卷 第 1 號 1993 年 2 月
Transactions of the Society of
Naval Architects of Korea
Vol. 30, No.1, February 1993

선체-프로펠러-주기관 사이의 맞춤에 의한 선박 추진 계통의 최적화

안성수*, 이창섭**

Optimization of Ship Propulsion System by Hull-Propeller-Engine Interaction

by

Sung-Soo Ahn* and Chang-Sup Lee**

요 약

본 논문에서는 선체-프로펠러-주기관 사이의 상호 작용을 해석함으로써, 선박의 추진 계통을 최적화하는 방안을 제시하였다.

프로펠러의 직경과 전개 면적비를 체계적으로 변화시켜 가면서, 캐비테이션을 고려하여, 주어진 선속에서의 최적의 회전수-소요 마력의 조합을 선정한다. 그리고, 이에 대응하는 주기관 후보를 찾아내어, 각 후보의 연료 소비율을 비교함으로써, 연료 소비율이 최소가 되는 주기관을 결정하고, 동시에 프로펠러의 주요 요목을 결정하는 프로그램의 개발과정을 설명하였다.

Abstract

In this paper, a procedure is presented to optimize ship propulsion systems considering the hull-propeller-engine interactions.

The propeller diameter and expanded blade ratio are systematically varied to find out the optimum combinations of RPM and BHP at a given design speed by considering cavitation criteria, and then by comparing the fuel oil consumptions of each main engine candidates which can produce each combination of RPM and BHP, appropriate main engine with the lowest fuel oil consumption together with principal characteristics of the optimum propeller are selected.

발 표 : 1991년도 대한조선학회 추계연구발표회(1991. 11. 14.)
접수일자 : 1991년 12월 16일, 재접수일자 : 1992년 4월 30일
* 정회원, 대우조선공업주식회사(연구당시 충남대학교 대학원생)
** 정회원, 충남대학교 공과대학 선박해양공학과

1. 序 言

선박의 경제성 검토에 있어서 연료비는 중요한 역할을 하여 왔으며, 최근에는 연료 가격이 해마다 상승함에 따라, 연료 소비량을 줄이는 것이 선박 설계의 가장 중요한 목표 중 하나가 되고 있다. 지금까지 연료 소비와 직접 연결되는 설계 변수로 주로 추진 효율을 다루어 왔으며, 일반적인 설계 과정에서는 기관의 출력 상태가 최적 여부를 확인하지 않은 상태로 주어지고 그에 맞는 프로펠러의 제원 만을 결정하는 데 그쳐 왔다.

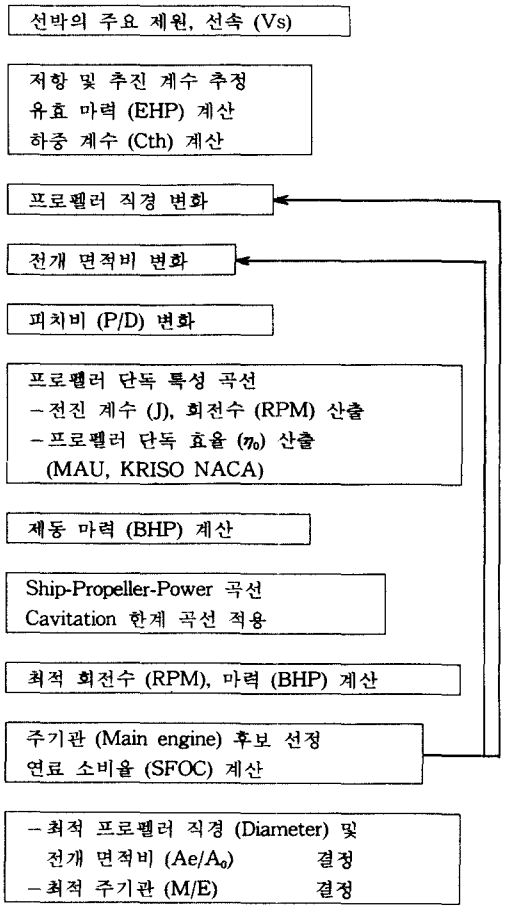
본 연구에서는 지금까지의 제한된 최적화 과정에서 벗어나서, 선체-프로펠러-주기관 사이의 상호 작용을 해석함으로써, 선박의 운항비(본 연구에서는 시간당 연료 소비량)를 최소화 하도록 최적의 주기관을 선정하고, 동시에 프로펠러의 주요 요목을 산출할 수 있는, 선박 추진 계통의 최적화 전산 프로그램을 개발하였다.

선박의 주요 치수가 주어지면, MARAD 계통 자료[1] 등을 사용하여 저항 및 추진 계수를 추정하고, MAU-형 프로펠러 계열의 단독 특성과 Burrill의 캐비테이션 한계식[2]을 적용하여, 가정된 프로펠러 직경·및 전개 면적비에 대하여, 주어진 설계 속도(design speed) 에서의 축 회전수와 소요 동력의 최적 조합을 구할 수 있다. 다음에는, 이렇게 구한 동력-회전수 관계를 만족시키는 주기관 후보를 선정하고, 각 기관의 연료 소비율을 계산함으로써, 가정된 프로펠러 직경과 전개 면적비에 대한 최적 주기관의 선정이 가능해진다. 따라서, 프로펠러 직경 및 전개 면적비를 체계적으로 변화시켜 가며, 선택 가능한 주기관의 시간당 연료소비량을 최소화할 수 있는 프로펠러 제원과 주기관의 형식 등이 동시에 결정된다.

저항 추진 성능을 추정함에 있어서는, 모형 시험 결과나 이론 계산에 의하여 구한 결과, 또는, 다른 계통 자료를 통하여 구한 결과를 사용할 수도 있도록 프로그램이 되어 있으며, 프로펠러 자료도, MAU- 형이나 KRISO-NACA 프로펠러[3]의 자료를 선택하여 사용 가능하도록 전산화 하였다. 또한 주기관 선정에 있어서는, 현재 주로 사용하고 있는 MAN-B & W [4] [5]와 SULZER [6]의 주기관이 선택적으로 선정되도록 하였으며, 선정된 주기관에 대한 연료 소비율을 계산하도록 하였다.

2. FLOW CHART

FLOW CHART



3. 抵抗 및 推進 性能 推定

선박의 저항 및 추진 성능을 추정하는 방법에는, 계통 자료를 이용하는 방법, 모형 시험에 의한 방법, 그리고, 이론 계산에 의한 방법 등이 있다[7].

모형 시험에 의한 방법은 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있는 반면에, 시간과 비용이 많이 들며, 이론 계산에 의한 방법은 논리 정연하고, 비용이 적게 들지만, 아직 정성적인 추정치 만을 주고 있을 뿐이다. 계통 자료(series data)를 이용한 방법은 비록 물리적 의미가 약하기는 하나, 어느 정도까지는 정확하게 추정할 수 있으며, 시간과 비용을 절감할 수 있다는 장점이 있다.

특히, 선박의 설계 초기 단계에 있어서는, 추정

정확도가 미흡하더라도, 신속하고도 경제적으로 저항 및 추진 성능을 추정할 필요성이 요구되므로, 계통 자료를 이용한 방법이 많이 사용되고 있으며, 본 논문은 이러한 계통 자료 방식을 기준으로 전개하고자 한다.

선박의 저항 및 추진 성능을 통계적으로 추정하기 위한 계통 자료는, 유사 선형에 대한 여러 척의 모형 시험 결과들을 몇가지 선형 치수비 별로 정리한 계열 도표로서, 현재까지 잘 알려진 계열 도표로 Taylor chart, Series 60, Series 64, Yamagata chart, BSRA series, MARAD series 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 높은 방형 계수(Cb), 낮은 길이-폭 비(L/B) 및 높은 폭-흘수(B/T)의 선형 특성을 갖는 저속 비대선에 대한 MARAD 계열 자료를 기준으로 과정을 전개하며 전산화 하였다.

4. 回轉數 및 所要 馬力 計算

프로펠러 단독 시험 결과로, 추력(T), 토오크(Q), 회전수(n) 및 프로펠러 전진 속도(V_A)를 알 수 있으며, 이를 기준으로, 다음 계수들을 산정할 수 있다.

-추력 계수(Thrust coefficient)

$$K_T=\frac{T}{\rho(nD)^2D^2}=\frac{T}{\rho n^2D^4} \tag{1}$$

-토오크 계수(Torque coefficient)

$$K_Q=\frac{Q}{\rho(nD)^2D^2D}=\frac{Q}{\rho n^2D^5} \tag{2}$$

-전진 계수 Advance coefficient

$$J_A=\frac{V_A}{nD} \tag{3}$$

-프로펠러 단독 효율(Propeller efficiency in open water)

$$\eta_0=\frac{P_T}{P_D}=\frac{TV_A}{2\pi Q_n}=\frac{T/\rho n^2D^4}{Q/\rho n^2D^5}\frac{1}{2\pi}\frac{V_A}{nD}$$
$$=\frac{K_T}{K_Q}\frac{J_A}{2\pi} \tag{4}$$

-추력 부하 계수(Thrust loading coefficient)

$$C_{th}=\frac{T}{\frac{1}{2}\rho V_A^2\frac{\pi}{4}D^2}=\frac{8}{\pi}\frac{K_T}{J_A^2} \tag{5}$$

4.1 推力 一致法(THRUST IDENTITY METHOD)

4.1.1 最適 回轉數 計算

$$\frac{K_T}{J_A^2}=\frac{T}{\rho n^2D^4}\frac{n^2D^2}{V_A^2} \tag{6}$$

에서,

$$T=\frac{R}{(1-t)},\quad V_A=V_S(1-\omega) \tag{7}$$

이므로,

$$\frac{K_T}{J_A^2}=\frac{1}{\rho D^2}\frac{R}{(1-t)(1-\omega)^2}\frac{1}{V_s^2} \tag{8}$$

를 이용하여 최적 회전수(RPM)와 소요 마력(BHP)을 구하는 방법이다 [8],[9].

프로펠러의 날개수(Z), 전개 면적비(A_e/A_0), 및 피치비(P/D)를 알면, 프로펠러 단독 특성 곡선을 구할 수 있으며, 앞에서 구한 저항 R과 자항 요소 w와 t를 알므로, $\frac{K_T}{J_A^2}$ 의 값을 구할 수 있다.

또한, 추력 부하 계수(thrust loading coefficient)는

$$C_{th}=\frac{8}{\pi}\frac{K_T}{J_A^2} \tag{9}$$

이므로, 그 값을 계산할 수 있고, 각 J_A 값에 대한 C_{th} 값을 프로펠러 단독 특성 곡선에 plotting할 수 있다.

Fig.1에서 구한 C_{th} 값에 해당하는 J_A 값을 읽고,

$$J_A=\frac{V_A}{nD} \tag{10}$$

이므로, 구하려는 회전수(RPM)는

$$n=\frac{V_A}{D\ J_A}=\frac{V_S(1-\omega)}{D\ J_A}\quad (RPS) \tag{11}$$
$$N=60\times n\quad (RPM)$$

이다.

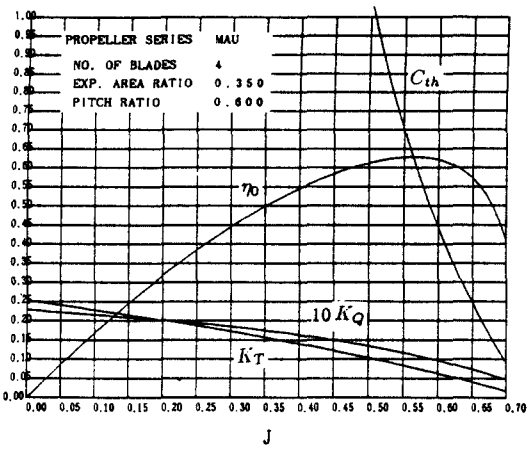


Fig. 1 Open water characteristics of MAU propeller

4.1.2 馬力(EHP, DHP, BHP) 計算

－유효 마력(Effective horsepower) :

$$P_E = R V_S \tag{12}$$

－전달 마력(Delivered horsepower) :

$$P_D = \frac{P_E}{\eta_H \, \eta_0 \, \eta_R} \tag{13}$$

여기서, η_H : 선체 효율(Hull efficiency),

$$\frac{1-t}{1-\omega}$$

η_0 : 프로펠러 단독 효율 Propeller open efficiency)

η_R : 상대 회전 효율(Relative rotative efficiency) 이다.

－제동 마력(Brake horsepower) :

$$P_B = \frac{P_D}{\eta_T} \tag{14}$$

여기서, η_T : 전달 효율(Transmission efficiency)이다.

4.2 토오크 一致法(TORQUE IDENTITY METHOD)

$$\frac{K_Q}{J_A^3} = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \frac{n^3 D^3}{V_S^3 (1-w)^3} \tag{15}$$

에서, 분자, 분모에 $2\pi n$을 곱하고, $P_D = 2\pi Q_n$이므로,

$$\frac{K_Q}{J_A^3} = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \frac{n^3 D^3}{V_S^3 (1-\omega)^3}$$

$$= \frac{P_D}{2\pi \rho D^2} \frac{1}{V_S^3 (1-\omega)^3} \tag{17}$$

이 된다.

이 식을 이용하여, 추력 일치법(thrust identity method)과 동일한 방법으로, 최적 회전수(RPM)와 마력(HP)을 산출한다.

5. SHIP-PROPELLER-POWER 曲線

선속(V_S)과 프로펠러의 피치비(P/D)를 변화시키면, 프로펠러의 피치비 변화에 따라 프로펠러 단독 특성 곡선이 변화하고, 선속이 변화하면 추력 부하 계수 값이 바뀌게 되므로, 각 선속과 피치비에 대하여 최적 회전수와 소요 마력이 계산된다.

이 값을 일정 선속 및 일정 피치비에 대하여 곡선으로 연결하여 도표화하면, ship-propeller-power 곡선을 얻을 수 있다.

Fig. 2는 이같은 방법으로 작성한 ship-propeller-power 곡선의 한 예이다.

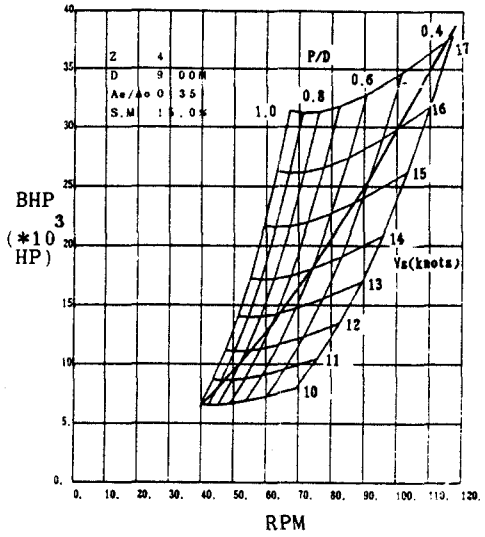


Fig. 2 Ship-propeller-power curves

6. 캐비테이션 限界 曲線

신조선 초기의 계획 단계에 있어서, 추진기(propeller)의 주요 치수 및 사양을 알고자 할 경우가

있으며, 특히 추진기는 치명적인 캐비테이션이 발생하면 안되므로, 캐비테이션 발생을 예측하는 판정 기준이 필요하다.

이러한 판정 기준은 캐비테이션 수, 또는 국부 캐비테이션 수와 관련하여, 날개 면의 단위 투영 면적에 대한 평균 프로펠러 추력을 기준으로, Burrill (1943)은 계수 τ_c를 사용하였다 [2].

$$\tau_c=\frac{T/A_P}{\frac{1}{2}\rho(V_R)^2}=\frac{T/A_P}{q_{0.7R}} \tag{18}$$

여기서, T =프로펠러 추력
A_P =날개의 투영 면적
ρ =물의 밀도
V_R =반경의 0.7 에서의 물의 상대 속도
$q_{0.7R}$ =반경의 0.7 에서의 동압(dynamic pressure) 이다.

0.7R에서의 국부 캐비테이션 수는,

$$\sigma_{0.7R}=\frac{P_0-P_V}{q_{0.7R}} \tag{19}$$

이며, 여기서, P_0 =프로펠러 중심선에서의 절대 압력
P_V=물의 증기압이다.

프로펠러의 중심선에서의 절대 압력 P_0는, 대기 압력에 프로펠러 중심선 까지의 수두 압력을 더한 것으로,

$$P_0=\text{Patm}+\rho g(T-E+\zeta_A) \tag{20}$$

으로 나타낼 수 있으며,
여기서, ρ =물의 밀도
g =중력 가속도
T =선박의 홀수
E =프로펠러 축의 선박 기선으로 부터의 높이
ζ_A =파도의 진폭이다.

0.7R에서의 물의 상대 속도는,

$$V_R=\sqrt{V_A^2+(0.7\pi D_n)^2} \tag{21}$$

이고, 여기서, V_A=프로펠러의 전진 속도
D =프로펠러의 직경
n =프로펠러의 회전수

프로펠러의 투영 면적 A_p는,

$$A_P=A_E(1.067-0.229P/D) \tag{22}$$

이다. 이러한 범위는 프로펠러의 전개 면적이 최소한

$$\left(\frac{A_E}{A_0}\right)\text{nec}\geq\frac{T}{A_0(1.067-0.229P/D)(0.3\sigma_{0.7R}^{0.5}-0.03)\,q_{0.7R}} \tag{23}$$

을 만족시켜야 한다.

여기서, A_0는 프로펠러의 원판 면적($\frac{\pi D^2}{4}$)이다.

식 (23)을 Burrill의 캐비테이션 챠트에서 캐비테이션 발생 면적이 5%가 되는 도표를 기준으로 도출하였다.

계수 τ_c를 세로 축으로 하고 0.7R에서의 국부 캐비테이션 수 $\sigma_{0.7R}$를 가로 축으로 하여 도표화하면, 다음 그림과 같다.

이 도표에서, 프로펠러는 과도한 캐비테이션을 방지하기 위하여, 이 곡선 하부에서 작동하여야 한다.

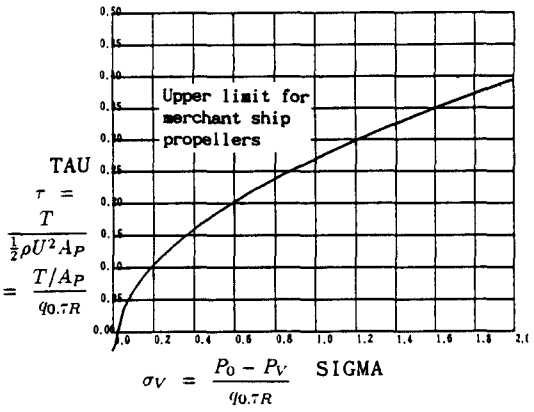


Fig. 3 Cavitation diagram (Burrill)

선속 및 프로펠러의 피치비를 변화시켜 가면서, 추력 일치법 또는 토오크 일치법을 이용하여, 프로펠러 단독 특성곡선으로 부터 구한 회전수를 식 (21)에 대입하여 V_R을 구하고,

$$q_{0.7R}=\frac{1}{2}\rho(V_R)^2 \tag{24}$$

을 이용하여, 반경의 0.7R에서의 동압(dynamic pressure)을 계산한다. 이를 식 (19)에 대입하여, 각 선속 및 프로펠러 피치비에서의, 0.7R에서의 국부 캐비테이션 수를 구한다.

식 (23)에 의하여, 프로펠러가 흡수할 수 있는 추력은

$$T_{min}=A_0(1.067-0.229P/D)(0.3\sigma^{0.5}_{0.7R}-0.03)\ q_{0.7R} \times(\frac{A_E}{A_0})_{nec} \quad (25)$$

이 되며, 따라서, 각 선속 및 프로펠러 피치비에 대한 흡수 가능 추력 T_{min}을 구할 수 있다.

또한, 실제 선박의 저항을 이기고 주어진 속력을 내기 위하여 발생시켜야 하는 추력을 T_{comp}라 하면 T_{comp}가 T_{min} 보다 클 경우 캐비테이션이 발생하게 된다.

즉, 일정한 프로펠러 전개 면적비에서 선박이 내는 추력이 프로펠러가 흡수할 수 있는 추력 보다 커지기 시작하는 선속을 각 피치비에 따라 구할 수 있으며, 이 때의 프로펠러 회전수와 소요 동력을 알 수 있으므로, 각 피치비에 대하여 그러한 점을 연결하면 ship-propeller-power 곡선 상에 캐비테이션 한계 곡선을 그릴 수 있다.

7. 最適 回轉數 및 所要 馬力 決定

일정한 선속(V_S) 에서의 최적 회전수와 소요 마력은 앞에서 구한 ship-propeller-power 곡선 및 캐비테이션 한계 곡선에서, 캐비테이션 한계 곡선 하부에서 최소 마력이 되는 점이나, 또는, 일정 속도 곡선과 캐비테이션 한계 곡선과의 교점으로 결정할 수 있다.

예를 들어, 아래 Fig. 4에서 보는 바와 같이, ship-propeller-power 곡선에서 주어진 선속이 14knots인 경우를 생각하면, 캐비테이션 한계 곡선과 일정 선속 14knots 선과의 교점이나, 또는 캐비테이션 한계 곡선 하부에서 일정 선속 14knots 선 상에서의 최소 마력이 되는 점중에서 소요 마력이 작은 점을 최적 회전수와 그 때의 소요 마력으로 결정할 수 있다.

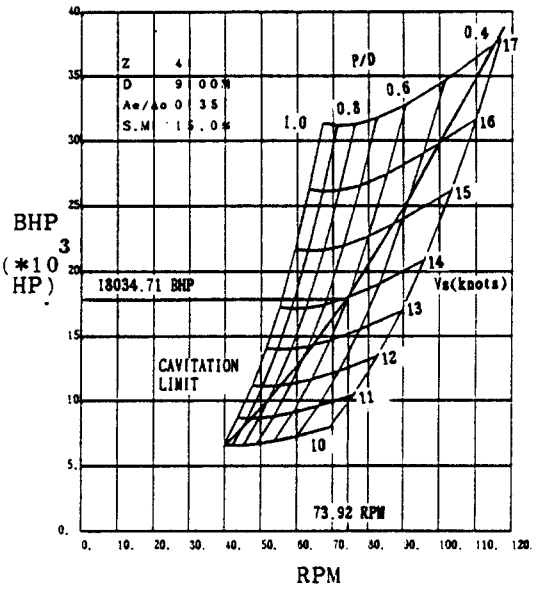


Fig. 4 Optimum RPM and BHP at constant ship speed

8. 主機關 候補 選定

앞에서 구한 최적 회전수(rpm)와 소요 동력(rpm)을 기준으로, 사용 가능한 주기관 후보를 선정한다.

8.1 B&W ENGINE

Fig. 5의 Layout diagram은 그 내부의 어떠한 점도 engine의 최대 연속 출력 점(MCR)이 될 수 있으며, engine을 그 specified MCR에 optimize시킬 수 있다.

여기서, 4개의 reference point는,

Designation	Mean effective pressure	Engine speed
L1	100%	100%
L2	80%	100%
L3	100%	75%
L4	80%	75%

이다.

단, L35MC/MCE engine의 경우에는, L3, L4점에서의 회전수는 82%로 유지한다.

L1점은 100% engine 출력 및 100% engine 회전속도에서의 공칭 최대 연속 출력(norminal MCR)을 나타낸다.

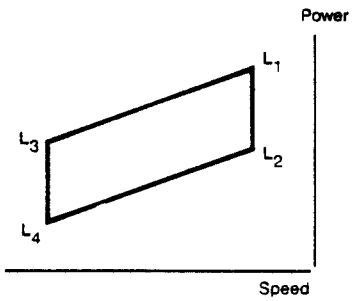


Fig. 5 Layout diagram (B & W)

L1 점(nominal MCR)을 제외한 모든 점을 specified MCR점이라 하며, L2, L3 및 L4를 포함하여 layout area내의 어떠한 점도 specified MCR로 정할 수 있으며, 또한 engine optimization point로 정할 수 있다.

8.2 SULZER ENGINE

Sulzer engine의 layout diagram은 Fig. 6의 그림과 같으며,

4개의 reference points는,

Designation	Engine power	Engine speed
R1	100%	100%
R2	55%	100%
R3	72%	72%
R4	55%	72%

이다.

여기서, 점 R1은 engine의 최대 연속 출력 점(MCR)이며, layout field 내의 어떠한 점도 MCR point로 선정될 수 있다.

따라서, 계약 최대 연속 출력(Contract Maximum Continuous Rating : CMCR)의 회전수(rpm)와 출력(bhp)이 layout diagram의 layout field 내부에 위치하면, 그 engine은 선정 가능하다.

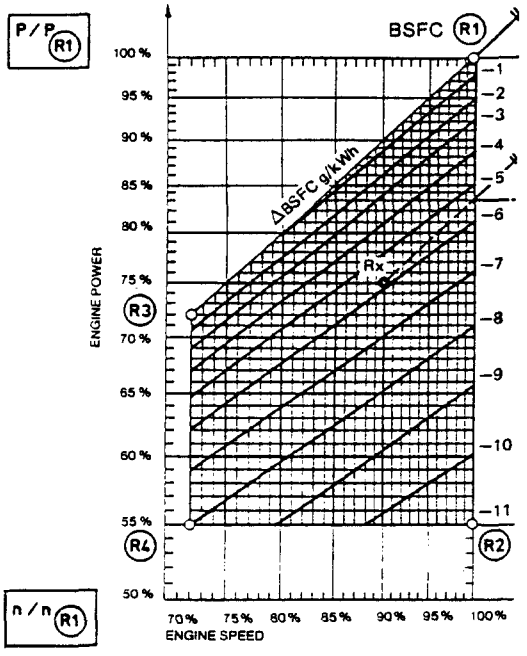


Fig. 6 Layout diagram (Sulzer)

9. 燃料 消費率 計算

앞에서 선정된 주기관 후보들에 대하여 연료 소비율을 계산한다.

9.1 B&W ENGINE

Layout diagram을 사용하여 연료 소비율(Specific fuel oil consumption) 값을 찾는데는, engine 이 specified MCR 점에서 optimized 되었다고 가정한다.

Fig. 7 및 Fig. 8은 고정 피치 프로펠러를 가지는, 90-80-70-60-50 및 42 MC/MCE engine의 연료 소비율(SFOC) 산출 및 연료 소비율 곡선 작성 방법에 대한 설명도이다.

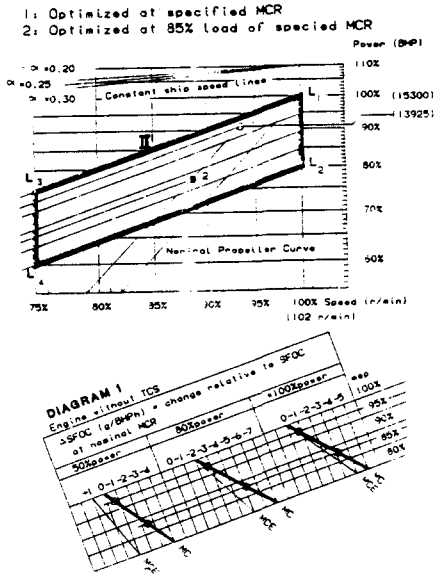


Fig. 7 Curves for SFOC calculation

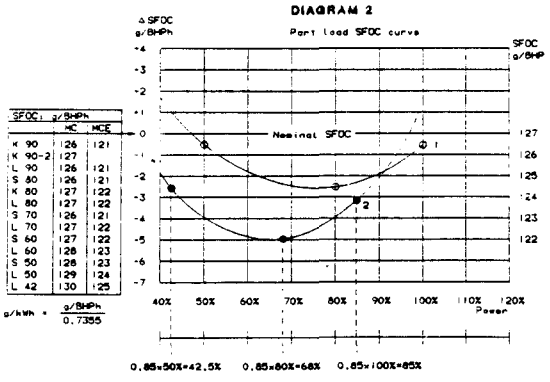


Fig. 8 Part and SFOC curve

Layout diagram에서의 specified MCR점을 지나 line Ⅱ와 평행한 직선을 그리고, diagram 1에서 굵은 실선(MC engines)과 가는 실선(MCE engine)과의 교차점이 nominal MCR(LI rating)에서의 연료 소비율을 기준으로, specified MCR의 100%, 80% 및 50%에서의 연료 소비율 감소량을 나타낸다 [4],[5].

9.2 SULZER ENGINE

요구되는 출력(bhp)과 회전수(rpm)를 선정된 model 의 MCR(R1) 점에 대한 백분율(%)로 환산하여, 이 계약 MCR점을 engine layout field에 표시한다.

△BSFC(R1−contract) 선을 interpolation 하여 연료 소비율 감소(△BSFC)를 구하고, Engine-MCR (R1) 점에서의 연료 소비율에서 연료 소비율 감소량 (△BSFC)을 감하여 계약 MCR 200% load에서의 연료 소비율(Brake specific fuel oil consumption : BSFC)을 산출한다.

Efficiency booster를 갖춘 engine의 경우, 계약 MCR 점을 R1-R3선과 평행하게 이동하여(일정 bmep 선), R1의 회전수와 같은 세로 축과의 교차점에서 수평 이동하여, 100%시 연료 소비율 감소선

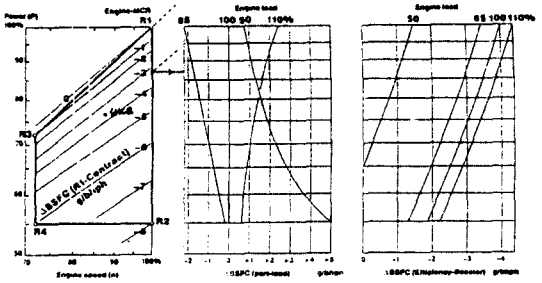


Fig. 9 Engine layout field and BSFC nomogram RTA 84C / 84M / 72 / 62 / 52

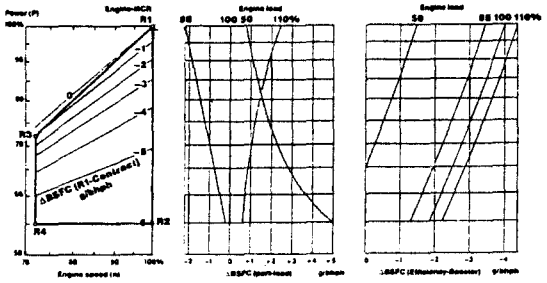


Fig. 10 Engine layout field and BSFC nomogram RTA 84 / 76 / 68 / 58 / 48 / 38

Table 1 Specific fuel consumption(g / bhp-h)

RTA	Engine-MCR (R1)	Minimum	
		without Efficiency-Booster	with Efficiency-Booster
84 C	126	118	116
84 M	125	117	115
84	126	119	117
76	127	120	118
72	126	118	116
68	128	121	119
62	127	119	117
58	129	122	120
52	128	120	118
48	131	124	–
38	133	126	–

△BSFC(Efficiency-booster) 값을 읽어서, 위에서 구한 연료 소비율로부터 빼어서 산출한다 [6].

Fig.14~17은 프로펠러 직경 9.5m, 전개 면적비 0.35인 경우, 선정 가능한 MAN-B&W 주기관에 대한 layout diagram과 부분 부하에서의 연료 소비율을 계산하여 도표화한 것의 일부이다.

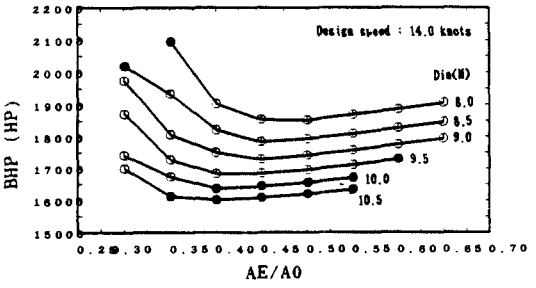


Fig. 11 BHP(HP) versus A_e / A_o with variation of propeller diameter(M) (1)

Table 2 Specific fuel oil consumption(Tons / hr) versus A_e / A_o and propeller diameter (M) (1)

	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
8.0	–	–	3.010	2.894	2.889	2.864	2.931
8.5	–	3.090	2.827	2.784	2.810	2.817	2.855
9.0	3.176	2.796	2.725	2.724	2.744	2.774	2.815
9.5	2.915	2.700	2.676	2.691	2.710	2.741	–
10.0	2.735	2.671	–	–	–	–	–
10.5	2.722	–	–	–	–	–	–

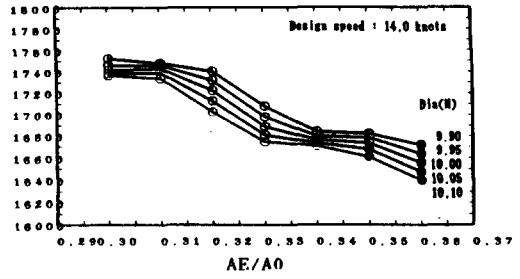


Fig. 12 BHP(HP) versus Ae / A_0
with variation of propeller diameter(M) (2)

Table 3 Specific fuel oil consumption(Tons / hr) versus Ae / A_0 and propeller diameter (M) (2)

	0.30	0.35	0.40	0.45
9.5	2.915	2.700	2.676	2.691
9.6	2.870	2.681	2.682	–
9.7	2.823	2.672	–	–
9.8	2.762	2.672	–	–
9.9	2.741	2.674	–	–
10.0	2.735	2.671	–	–
10.1	2.738	–	–	–
10.2	2.744	–	–	–
10.3	2.745	–	–	–
10.4	2.738	–	–	–
10.5	2.722	–	–	–

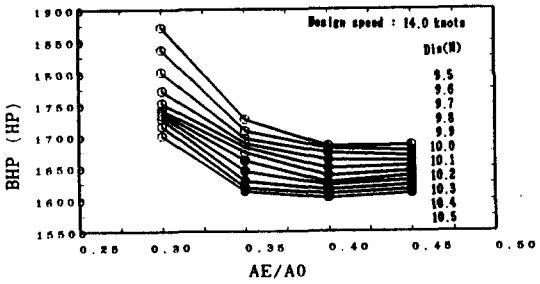


Fig. 13 BHP(HP) versus Ae / A_0
with variation of propeller diameter(M) (3)

Table 4 Specific fuel oil consumption(Tons / hr) versus Ae / A_0 and propeller diameter (M) (3)

	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36
9.90	2.741	2.744	2.741	2.696	2.667	2.674	–
9.95	2.736	2.746	2.733	2.685	2.665	2.673	–
10.00	2.735	2.747	2.723	2.676	2.666	2.671	–
10.05	2.736	2.746	2.712	2.669	2.667	–	–
10.10	2.738	2.743	2.701	2.669	2.668	–	–

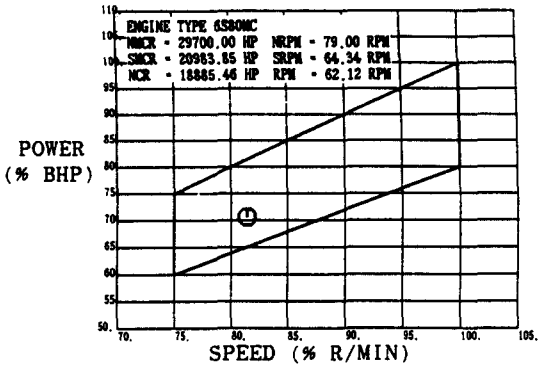


Fig. 14 Layout diagram (1)
for dia=9.5 m and Ae / A_0=0.35

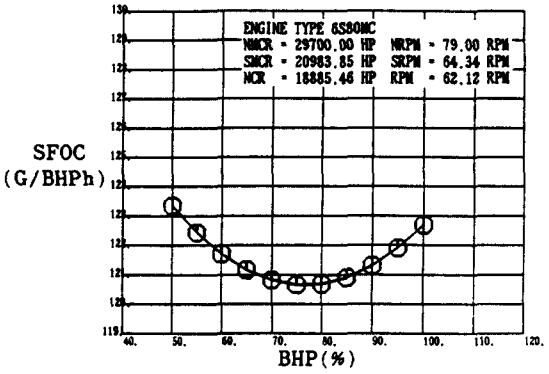


Fig. 15 Layout diagram (2)
for dia=9.5 m and Ae / A_0=0.35

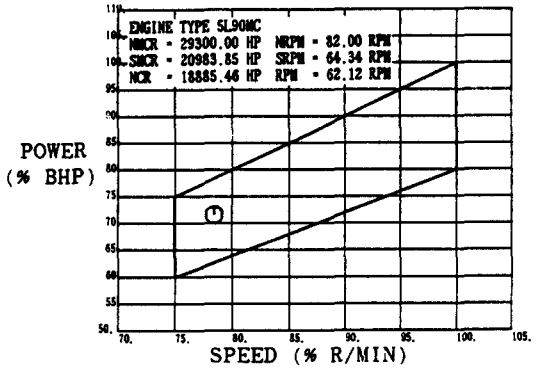


Fig. 16 Part load SFOC curve (1)
for dia=9.5 m and Ae / A_0=0.35

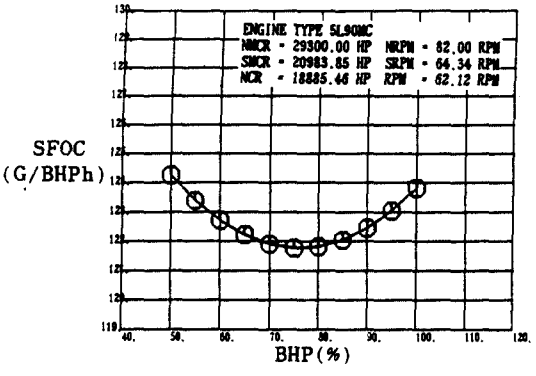


Fig. 17 Part load SFOC curve (2)
for dia=9.5 m and Ae/A_0=0.35

10. 프로펠러 設計

앞에서 구한 결과를 기준으로, 프로펠러의 직경 및 전개 면적비를 변화시키면서, 각 프로펠러 직경 및 전개 면적비에 대한 소요 마력(BHP)을 구하고, 각 점에 대하여 사용 가능한 주기관 후보 각각에 대한 연료 소비율을 계산하고, 그 중 가장 낮은 연료 소비율을 가지는 주기관을 선정한다.

Fig.11은 프로펠러 직경을 8.0 M−10.5 M로 변화시키고, 동시에 전개 면적비를 0.30−0.65로 변화시켜 가면서, 각각의 소요 마력(BHP)를 계산하여 표시하였다. 또한 각 점에서의 사용 가능한 주기관 후보 중 연료 소비율이 최소가 되는 주기관의 시간 당 연료 소비율을 계산하여 Table 2에 도표화하였다.

Fig. 11에서, 보다 정확한 값을 찾아내기 위하여, 프로펠러 직경 9.5 M−10.5 M, 전개 면적비 0.30−0.45 근처의 소요 마력 값을 보다 작은 간격으로 계산하여 도표화하면 Fig. 12를 얻을 수 있다.

다시, 프로펠러 직경을 9.90 M−10.10 M로 범위를 축소하고, 전개 면적비를 0.30−0.36에 대하여 계산하여 도표화하면 Fig. 13과 같은 소요 마력 및 연료 소비율을 구할 수 있으며, 연료 소비율이 최소 값이 되는 프로펠러 직경 및 전개 면적비를 기준을 프로펠러를 설계한다.

여기서, 연료 소비율의 단위는 시간당 톤이며, • 표는 사용 가능한 주기관이 없는 경우이다.

11. 結 言

이상과 같이, 선박의 주요 제원을 기준으로, 선박의 속도와 프로펠러의 직경, 전개 면적비 및 피치비를 변화시키면서, 저항 및 추진 성능을 추정하고, 캐비테이션을 고려한 최적 회전수와 소요 마력을 계산하였다.

또한, 최적 회전수와 소요 마력을 기준으로, 주기관을 선정하고 연료 소비율을 계산하여, 각 프로펠러의 직경 및 전개 면적비에 대한 시간당 연료 소비율이 최소가 되는 주기관과 프로펠러의 주요 요목을 결정하였다.

본 연구에서는 각 단계 별, 즉,

- 저항 및 추진 성능 추정
- 최적 회전수 및 소요 마력 산출
- 주기관 선정 및 연료 소비율 계산
- 최적 프로펠러 주요 요목 결정

등의 각 단계를 module화하여 전산화 하였으므로, 각 단계별로 독립적으로 계산 및 입력이 가능하다.

선체-프로펠러-주기관 사이의 상호 작용을 해석함으로써, 선박 추진 계통의 최적화 program을 개발하였다.

참 고 문 헌

[1] Donald P. Roseman, "The MARAD Systematic Series of Full-Form Ship Models", *SNAME*, 1987.

[2] SV.AA. Harvald, ***Resistance and Propulsion of Ships***, John Wiley & Sons, 1983.

[3] 김문찬, 이진태, "KIMM-NACA 프로펠러 회귀해석", 선박해양공학연구 Vol.1., 1988.12.

[4] "Project Guide Two-Stroke Engines", MAN B&W Diesel A/S, 1986.

[5] "Two-Stroke Engines MC programme 1991", MAN B&W Diesel A/S, 1991.

[6] "General Technical Data for RTA52, RTA62, RTA72, RTA84M and RTA84C Marine Diesel Engines", MBS Diesel Engines Ltd., 1989.

[7] 김은찬, "저항추진 성능의 통계추정법과 비대선에의 적용", 인하대학교 박사학위논문, 1990. 2.

[8] 김은찬, 양승일, "저항 및 추진시험 결과해석 프로그램 개발", 한국기계연구소 소보 제17집, 1987.12.

[9] 송인행, "소형어선의 프로펠러 설계와 성능추정", 어선 제29호.