

## 선박성능과 기관성능의 예측 프로그램

안 시 영 <울산대학교>

### 1. 서 언

선체성능, 선박운항성능 및 기관성능의 현황과과 예측을 하는 것은 선박설계자, 선박운항자 및 선박관리운영자에게 설계, 보선관리 및 용역관리상 대단히 중요하다.

선체성능의 전산원용예측에 관한 대부분의 문헌은 모형수조시험 및 공시해상시험의 자료를 수식화하는데 집중하고 있다. 따라서 현재까지 자료의 수식화, 예측된 자료와 성능시험결과치의 상관기법 및 PC software를 이용한 선박성능예측의 체계적 접근법 등에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 또한 선박의 Abstract Log Book의 자료 및 주기관 성능자료의 수식화, PC software 개발에 의한 선박운항성능 및 기관성능예측에 대한 연구가 역시 수행되고 있다.

이와 관련하여 본고에서는 선체성능(저항과 추진계수), 선박운항성능 및 주기관성능등의 예측에 관하여 그 개요를 소개코져 한다.

### 2. 선체성능(저항과 추진계수)

저항과 추진계수의 예측에 관한 수치성능해석방법은 원칙적으로 3종류가 있다. Fig.1에 표시된 바와같이 모형시험과 해상시험결과치를 이용한 경험적 예측법 2가지와 순수수치해석법이 있으며 각 방법은 고유의 장점을 가지고 있다.

Flow codes는 선체저항의 예측은 신뢰성 높게 정확치 않으나 비교해석에는 대단히 유용하게 사용될 수 있으며 또한 이를 이용하면 상이한 선체 및 부가

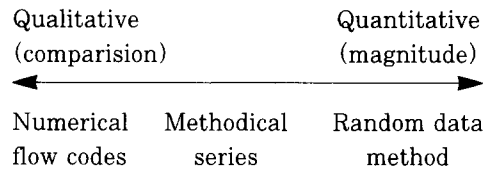


Fig.1 Analysis method

물 배치에 따른 유동과 조파저항이 가시화될 수 있다. 나머지 2가지의 경험적 수치성능 해석법, 즉 methodical series와 random data method는 PC를 이용하여 유용하게 사용될 수 있다. Methodical series는 상이한 설계치수의 장점을 비교 평가하는데 대단히 유용하다. 그러나 series의 시험조건한계를 벗어나면 오차가 크다. Series의 선행과 다른 선행을 평가할때는 random data method가 더 매력적이다. 최근 개발된 수치해석법 즉 다항회귀법을 이용하면 다량의 모형시험 및 공시해상시험자료를 선체파라미터들을 각각 독립변수로 하여 한 수식으로 축소 표시할 수 있다. 이 회귀식을 이용하여 선체성능을 예측할 수 있다. Random data법은 다종의 조합선형과 시험결과치를 이용하며 저항에 미치는 각 파라미터의 영향이 개별적으로 평가될 수 없는 경우에는 이 방법은 양적 저항값을 더 잘 예측해 준다. 가능한 많은 모형 및 실선시험자료를 종합함으로써 각 파라미터의 다양한 영향들이 결과식으로 표시될 수 있으며 한 포괄적인 도구가 될 수 있다. 선체전체가 잘 정의되어 있지 않은 경우에도 대규모의 random data법으로 더 신뢰성있는 결과를 제공해 줄 수 있다.

최근 각종 수치식과 자료의 소개, 알려진 성능결과와 수치해석 예측치와의 상관기법, PC software를 이용한 선박성능예측에 대한 체계적 접근법등 저항과 추진계수의 예측과 관련한 기본방법들이 발표되고 있다(1).

### 3. 선박운항성능

공시해상시운전시 예측된 자료와 선박운항중에 기록된 Abstract Log Book의 자료를 기본자료하여 최근 PC용 선박운항성능예측용 software가 개발되고 있다. 선박운항해석을 위한 프로그램의 개요는 다음과 같다.

#### 3.1 기초자료

선박의 주요요목 및 해상공시운전시의 각종계측자료는 성능해석의 기초자료가 된다. 이 자료를 이용하여 출력-선속곡선, 연료소비량-출력곡선 및 출력-프로펠러 회전수곡선(propeller curve)이 작성된다.

#### 3.2 일일입력자료

Abstract Log Book의 기록자료 중 항진시간, 항진거리, 회전수, 연료소비량등의 1일간 자료를 입력자료로 사용한다. 또한 이러한 자료를 몇년간 확보한다.

#### 3.3 일일자료계산

일일자료를 이용하여 1일간의 속력(Knot), 연료소비량(MT/24Hr), 주기출력(%), sea margin(%), Vcor(홀수수정속력, Knot), Vcso(상용출력 홀수수정 속력, Knot), propeller margin(%) 및 연료소비량기준 출력(Ps)등을 계산한다. 여기서 Vcor 및 Vcso는 실제항해시의 홀수와 기초자료의 홀수차를 고려하여 기초자료의 기준홀수에 대한 수정치이다.

#### 3.4 성능해석

일일자료의 계산치를 이용하여 집계하는데 4종류의 집계방법이 있으며 각 방법에 따라 설정조건이 있다. Table1.은 설정조건의 한 예를 표시하고 있다. 선별성능해석은 항차별-월별-풍력등급별 이외에 바람, 파도의 높이와 방향, 계절요인등을 고려한다.

항차별 선박운항성능해석에서는 다음과 같은 항목이 고려되고 있다. 기간(Y/M), 홀수(m), 항진시간(Hr), 항속거리(Mile), 속력(Knot), RPM, 주기관 연료소비량(H.F.O., MT/24Hr), 출력(%), 출력

(Ps), sea margin(%), Vcor(Knot), Vcso(Knot) 및 propeller margin(%)등이다.

**Table 1 Voyage performance data setting**

Voyage No.	$1 \leq \text{No} \leq 20$
Hr. of propulsion	$12 \leq \text{Hr} \leq 25$
Sea margin	$-15.0 \leq \% \leq 50.0$
Power	$9,000 \leq \text{Ps} \leq 13,500$
Wind force	$0 \leq \text{BF} \leq 4$
Draft	$9.0 \leq \text{m} \leq 13.00$
Navigation route	

#### 3.5 성능해석의 검토

위의 성능해석항목 중 속력과 연료소비량의 관계에 대하여 집계하는 것으로서 항차별 성능과 풍력 등급별 성능검토를 주로 한다. 집계자료를 선택하는 조건 설정은 앞에서와 같다.

#### 3.6 경월변화와 경년변화효과(Aging effect)

선박의 운항성능은 선저 및 프로펠러의 오손, 외판 표면의 열화등에 의하여 시간이 경과함에 따라 일정 출력하에서 속력 및 회전수는 점점 저하하고 또한 정속을 유지하기 위하여 출력, 연료소비율은 증가, 즉 sea margin이 증가하게 된다.

따라서 출거-입거 기간마다 월별 및 년별 aging effect를 해석하여 오손영향, 선저도장의 효과판정, 그의 단기적 성능예측을 한다. 속력의 경년변화로 인하여 입거하여도 매년 속력저하의 요인이 누적되어 종전의 속력을 회복할 수 없기 때문에 경년변화를 추정하는데는 입거-입거기간의 안전시기를 선정, 그 기간의 기준시기로 정한다. 매 출거후 3개월 되는 시기를 기준점으로 하여 각 기준점을 연결하여 경년변화 곡선을 구하고 이 곡선을 회귀식으로 표현, 수치화하고 있다.

#### 3.7 선별 성능 추정

임의의 sea margin, 홀수, 연료발열량의 자료를 사용하여 출력-속도-연료소비량 관계곡선을 작성한다. 또한 임의의 propeller margin의 자료를 이용하여 margin을 포함한 propeller curve를 작성하여 임의의 출력에 대한 회전수를 계산한다.

#### 4. 기관 성능해석

최근 항해중의 주기관 운전자료를 육상공시운전 및 해상공시운전시의 주위환경으로 환산하여 이를 신조 당시의 운전자료(기초자료)와 비교하고 이들 자료의 편차를 Trend graph화 하여 기관의 성능해석을 수행하고 있으며[2], 또한 gas leakage를 고려하여 수치해석법에 의하여 주기관성능을 예측하고 있다.

기관성능예측 프로그램의 개요는 다음과 같다.

##### 4.1 기초자료

육상시운전 또는 해상공시운전시의 자료를 이용하여 다음과 같은 자료를 최소 2승법에 의하여 직선회귀 또는 곡선회귀하여 다음 각 항목의 기초자료간의 회귀관계식을 각각 구한다.

1. 출력(BHP, P<sub>s</sub>)-주기관회전수(Ne, rpm)
2. 출력 - 펌프마아크(LI)
3. 주기관 회전수 - 출력
4. 출력 - 과급기 회전수(Nt, rpm)
5. 과급기 회전수 - 출력
6. 출력 - 소기압력(P<sub>s</sub>, kg/cm<sup>2</sup>)
7. 소기압력 - 출력
8. 출력 - 압축압력(P<sub>com</sub>, kg/cm<sup>2</sup>)
9. 출력 - 최고압력(P<sub>max</sub>, kg/cm<sup>2</sup>)
10. 출력 - 실린더 출구 배기온도(T<sub>v</sub>, °C)
11. 출력 - 과급기 입구 배기온도(T<sub>b</sub>, °C)
12. 출력 - 과급기 출구 배기온도(T<sub>a</sub>, °C)
13. 소기압력 - 공기냉각기압력손실(ΔP<sub>c</sub>, mm Aq)
14. LI x Ne - 출력
15. 연료소비량(FOC, MT/24hr) - 출력

상기 기본자료간의 관계는 연료소비량과 출력의 관계를 제외하고 대부분 다음의 곡선 회귀식으로 나타낼 수 있다.

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 \quad (1)$$

여기서 a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>는 회귀계수이다. 최대 4차까지 매 차수마다 결정계수가 최대가 되도록 차수를 결정한다. 연료소비량과 출력과의 관계는 다음의 직선회귀식으로 표시할 수 있다.

$$FOC = (H_U/H_{UM})(aP + b) \quad (2)$$

여기서

FOC : 연료소비량(MT/24hr)

P : 주기관 출력(P<sub>s</sub>)

a, b : 정수

H<sub>UM</sub> : 임의의 연료발열량

H<sub>U</sub> : FOC-P 곡선 작성시의

연료저발열량(kcal/kg)

또한 공시운전시 과급기 1대를 차단하는 특수운전 상태에서 자료를 수집, 기초자료로 이용한다. 그 외 기초자료로서 육상공시 및 해상공시때의 환경조건에 대한 수정을 하기 위하여 다음의 항목이 고려된다.

과급기흡입공기온도(t<sub>io</sub>, °C),

소기온도(t<sub>so</sub>, °C)

연료유주기입구온도(t<sub>mo</sub>, °C)

연료유주기입구밀도(γ<sub>mo</sub>)

연료유저발열량(H<sub>u0</sub>, Kcal/Kg)

Fig. 2는 육상공시운전시 주기관의 성능곡선(기초곡선)의 일부를 보여주고 Table 2는 SULZER RTA84T 박용주기관의 주요요목을 나타내고 있다.

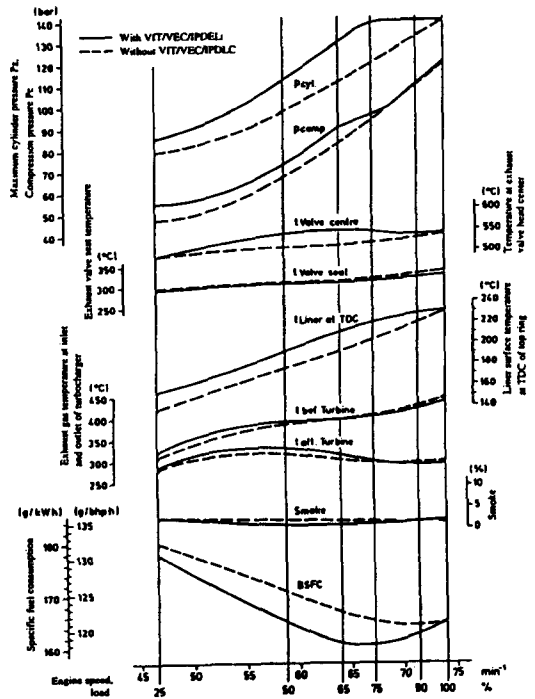


Fig. 2 Performance of RTA84T Engine

**Table 2 Principal particulars of RTA84T Engine**

Cylinder bore	840 mm
Stroke	3,150 mm
Stroke/bore ratio	3.75
Engine speed	74-54 rpm
Mean piston speed	7.8 m/s
Brake mean effective pressure	18.0 bar
Maximum cylinder pressure	140 bar
Number of cylinders	5~9
Output per cylinder	3,880 KW 5,280 PS

여기서

- VIT : Variable injection timing
- VEC : Variable exhaust valve closing
- IPDLC : Integrated power dependent liner cooling

**4.2 주기관 성능 보고서 및 입력자료**

1회분의 자료를 주기관 성능보고서에 작성하며 이 자료가 해석의 기초가 된다. 또한 이 보고서중에서 성능해석에 필요한 항목만을 수일간 수집, 입력자료로 사용한다.

**4.3 성능곡선의 작성**

하기의 계측자료를 육상공시 및 해상공시별로 구분하여 기초성능곡선상에 각각 도시한다. 또한 계측자료와 기초자료작성시의 환경조건에 대한 수정자료를 구별하여 작성한다.

- 과급기입구배기온도      과급기출구배기온도
- 실린더-출구배기온도      최고압력
- 압축압력                      과급기 회전수
- 소기압력                        주기회전수
- 펌프마아크(Load Indicator)

기준이 되는 출력(BHP)의 선택이 필요하다. 하기의 항목으로부터 계산한 출력을 임의로 선택하여 이에 대응하는 자료치를 도시화한다.

- 연료소비량                      과급기회전수
- 주기회전수                      소기압력
- 임의출력

**4.4 편차해석**

계측자료를 육상공시 또는 해상공시때의 주위환경으로 환산하여 공시때의 계측결과와의 편차를 구하고 이것을 경향도식화(Trend graphing)한다. 이 경우 조건선택은 4.3항과 같이 한다.

수정계산의 기초가 되는 공시때의 주위환경조건을 임의로 변경하여 simulation할 수 있다. 또 4.3항의 항목외 다음 항목을 추가한다.

공기냉각기 소기측 압력차, BHPI/BHPf

Graph상에 소기압력을 표시, 공기측 오손상항을 파악하고 펌프마아크와 회전수로부터 구한 출력(BHPI)와 연료소비량으로부터 구한 출력(BHPf)의 비를 표시, 연료펌프계통의 이상여부를 추정한다.

**4.5 실린더별 성능해석**

실린더-출구배기온도와 최고압력에 대해서 4.4항에서 행한 것과 같은 해석을 실린더별로 수행한다.

**참 고 문 헌**

- [1] Donald M. MacPherson, "Reliable performance Prediction : Techniques Using a Personal Computer", *Marine Technology*, Vol. 30, No.4, Oct. 1993, pp. 243-257
- [2] Rikuo Nagaoka, "Development of Ship's Performance and Diesel Engine Performance Analysis Program", *Journal of the M.E.S.J.*, Vol. 29, No.3, 1994