

소형 어선용 프로펠러 개선법

- FRP어선 -

한국어선협회 기술개발부
주임기술원 김 주 남

1. 머리말

소형선의 프로펠러를 설계하는 일은 대형선보다 어렵다고 말하며, 근래에 FRP 어선의 건조가 급증하고 있으면서도 실제로 프로펠러 설계에 의한 설치는 거의 전무한 형편이다.

일반적으로 주기관 제작사의 공급품을 그대로 사용하던지 또는 건조자의 경험에 의한 개별적 구입으로 설치 함으로써 선형에 적정한 프로펠러를 설치하지 못하는 경우가 발생되고 있다. 이로 인하여 주기관과 프로펠러의 불균형으로 주기관에 무리가 가해지며 속력의 저하 및 진동 등 여러가지 문제점이 수반된다.

FRP 어선은 각 지역의 조선소에서 그 지역에 적합한 선형으로 개발되고 있으나 프로펠러 설계 의뢰 단계에서도 선형선도 등이 지급되는 일이 없고 길이, 너비, 깊이 등 선미형상에 의해 프로펠러 최대제한 직경 등을 감안하여 설치하고 있다. 즉 선형을 확실히 이해하지 않고 프로펠러를 결정하는 것이 가장 큰 불안 요소가 되는 것이다.

따라서 초기 계획선의 주어진 주요촌법 등을 기초로 하여 FRP 어선의 속력 및 프로펠러의 촌법을 결정할 수 있는 개선법을 소개하며 FRP 어선 건조에 도움이 되고자 한다.

소개하고자 하는 자료는 일본의 미가도 프로펠러 주식회사에서 자료정리된 것을 발췌한 것

이다.

2. FRP 어선의 저항

소형 FRP 어선의 저항은 산정하는 “계통저항 산출도표”가 없이 수많은 실선의 저항시험 결과를 일정의 법칙으로 해석하고 이것으로부터 얻어진 프로펠러 추력마력 THP와 속력 V_s 의 관계에서 V_s/\sqrt{L} 을 기선으로 $THP/\Delta\sqrt{L}$ 을 종축으로 해서 정리해 보면 각 지역별 조선소별로 대략 상이한 곡선군으로 정리 될 수 있다. 이러한 여러 곡선중에서 극히 일반적인 선형의 것을 집합해서 하나의 선으로서 정리하여 보면 도표 1과 같이

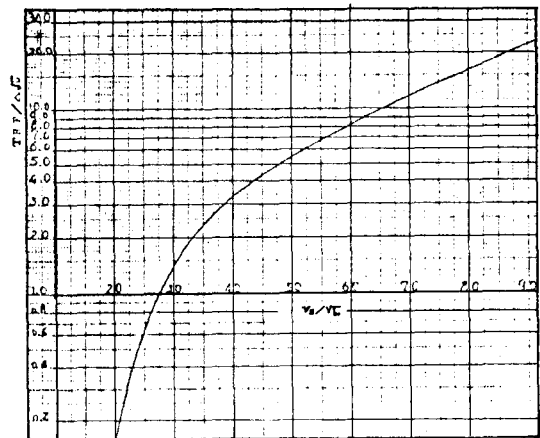


도표 1 소형 FRP 어선의 저항도표

된다. 이 도표는 아주 일반적인 FRP 어선이지만 이런 속력에 대한 배수량 1톤당 물로부터 받는 저항을 표시하고 있다.

한편 이것은 소형 FRP 어선의 경우 본선의 배수량을 알고 난 후 속력의 결정에 중요한 의미를 갖는다고 말할 수 있다. 도표 1을 사용하면 일반적인 FRP 어선의 각 속력에 대한 저항 (THP)을 구할 수 있을 뿐만 아니라 탑재마력을 구하여 속력의 결정, 프로펠러의 촌법 산출이 가능해진다.

3. 속력산출표

도표 1은 전문가로서는 중요한 표현 방법이지만 이것을 일반화해서 누구라도 속력 산출을 간단하게 구할 수 있도록 하기 위해서 작성된 것이 도표 2이다.

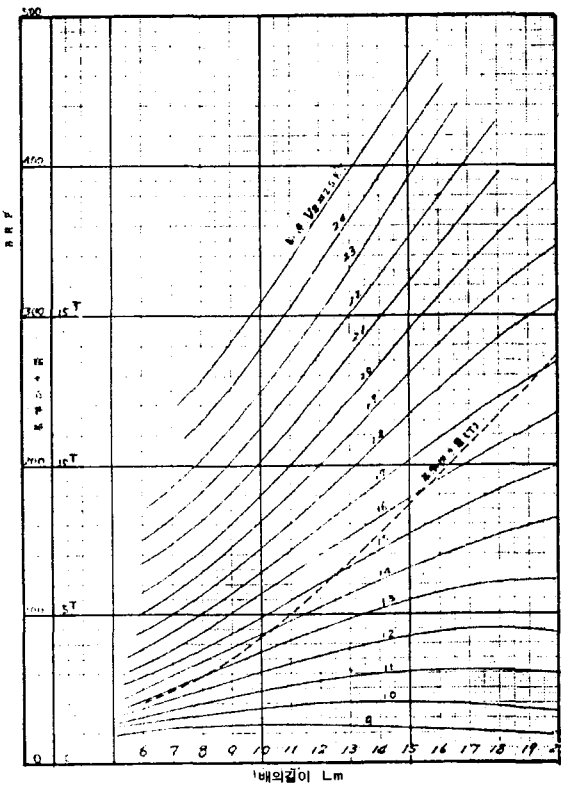


도표 2 선속조건표

도표 1로부터 $THP / \Delta \sqrt{L}$ 와 V_s / \sqrt{L} 의 관계로부터

$$\frac{THP}{\Delta \sqrt{L}} = f(V_s / \sqrt{L})$$

로 표현되지만 이것은 THP / Δ 가 V_s 와 L 과 의 함수로 되어 있어서

$$THP / \Delta = f(V_s, L)$$

로서 L 을 기선으로 V_s 을 파라메타로 해서 표시해 보면 종축은 THP / Δ 가 될 수 있다. L 에 대응하는 기준배수량 Δ_0 을 선정하면 종축에는 THP 을 그대로 표시할 수 있다. 도표 2는 이러한 것을 감안하여 THP 에 적당한 프로펠러 효율과 전달효율의 여유를 주어 BHP로서 표시하였다.

4. 속력의 산출순서

가. 본선의 배수량(Δ)추정

주어진 본선의 주요요목중에 배수량이 있으면 이것을 사용하지만 주어진 조건이 없는 경우는 배수량을 추정해야 한다. 프로펠러의 마진 (Margin) 점은 만재상태와 공선상태에 따라 다르게 되며 속력산출의 기준이 되는 배수량의 추정방법도 다르게 된다. 배수량은 속력을 결정하는 중요한 요소로서 되어 있지만 각 선에 있어서 이것을 정확하게 구하기는 매우 곤란하므로 다수의

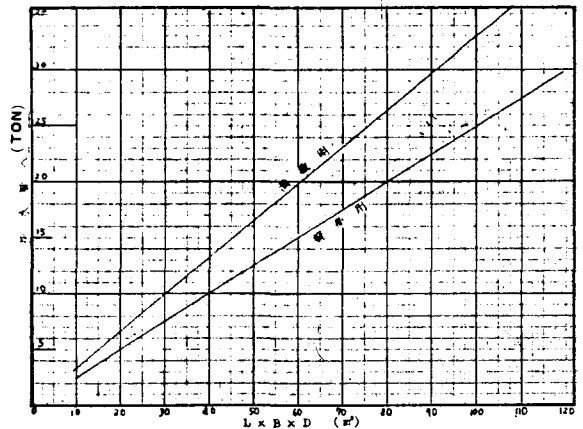


도표 3 배수량 추정도

FRP선에 있어서 경험에 의한 근사치의 값을 추정할 수 있다. 도표 3에는 주어진 LBD의 상승적으로 배수량을 구할 수 있도록 하였다. 즉 주어진 촌법으로부터 L×B×D를 계산해서 경하용 혹은 만재용 등의 조건을 고려하여 본선의 배수량을 결정할 수 있다. 이에 반하여 배수량이 판명된 실선이 있으면 이것을 도표 3에 표시하여 봄으로써 보다 정확한 배수량을 구할 수 있고 도표 3에 이렇게 실선으로 표시하여 새로운 곡선을 구하면 보다 정확한 배수량을 추정할 수 있는 것이다.

나. 기준 배수량(△)톤

먼저 서술된 도표2는 길이 L (전장)과 이것에 대응하는 기준배수량(△)을 이용해서 도표 1로부터 구할 수 있다. 도표 2는 L에 대응하는 배수량이 △. 의 경우에 성립되어 산출되지만 본선의 길이 L에 대한 기준배수량을 다소라도 알지 않으면 안된다. 이것은 도표 2의 L에 대응하는 점선의 값을 읽어서 바로 알 수 있다.

다. 마력의 수정

도표 2를 작성할 때 기준배수량 △.와 본선의 L×B×D로부터 구한 배수량 △와의 비율은 그대로 마력에 비례하므로 주어진 최대마력 BHP와 속력 산출용의 마력 BHP'는 다음과 같이 주어진다.

$$BHP' = BHP \times \frac{\Delta_0}{\Delta} \dots\dots\dots ①$$

라. 속력의 산출

도표 2를 이용해서 볼 때 주어진 선의 길이 L 점의 직상에서 찾고 속력산출용의 마력 BHP'의 점을 종횡에서 찾아 그 교점의 속력을 읽으면 이 값이 구하고자 하는 본선의 속력이 된다. 이 속력은 초기계획에 의한 촌법으로서 검토된 속력으로 본선의 규모에 적절한 속력이라고 할 수 있으며 본 속력을 유지하기 위한 주기관 및 추진기를 결정하여야 할 것이다.

5. 프로펠러 촌법의 약산법

가. 프로펠러 직경을 구하는 법

소형 FRP 어선의 프로펠러는 일반적으로 3익으로 생각되며 이 3익 프로펠러의 직경을 구하는 것은

$$D = \left(\frac{155}{N_p} \times \sqrt{\frac{BHP}{V_s}} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots ②$$

을 이용하면 편리하다.

4익 프로펠러에 대하여는

$$D = 4.0 \left(\frac{SHP}{V_s \times \left(\frac{N_p}{10} \right)^2} \right)^{0.26} \text{ 또는}$$

$$D = \left(\frac{143}{N_p} \times \sqrt{\frac{SHP}{V_s}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

와 같은 식이 있지만 3익 프로펠러에 관하여는

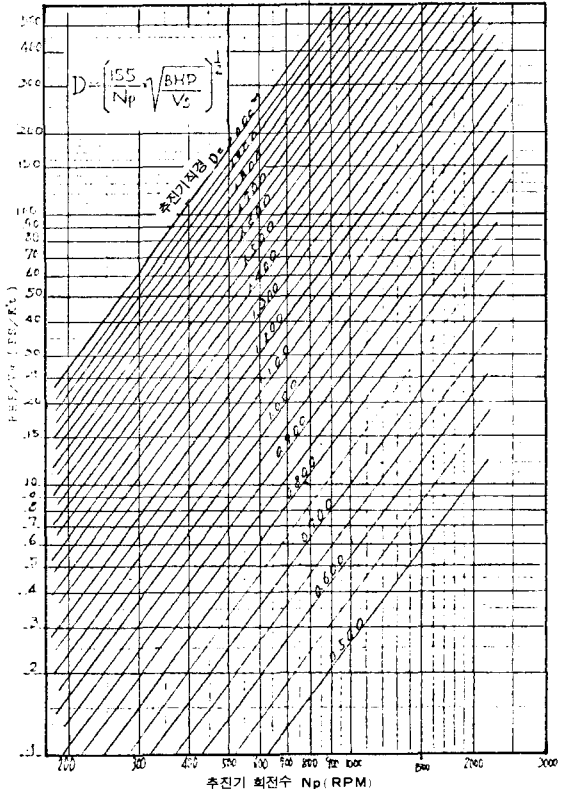


도표 4 3익프로펠러 최적직경 (개산산출도)

②식이 적합하다고 본다. ② 식에 의해 계산하는 것을 생략할 수 있도록 한 것이 도표 4이다. 주어진 최대마력 BHP를 추정된 속력 V_s 로 나눈 값과 프로펠러 회전수와와의 관계로부터 3익의 직경을 직접 읽을 수가 있다.

나. 피치비 P/D 및 단독효율 η_p 을 구하는 방법

프로펠러 매분회전수 $N_p(\text{rpm})$ 및 먼저 구한 선속 $V_s(\text{kt})$, 프로펠러 직경 $D(\text{m})$ 을 사용해서

$$N_p \times D / V_s \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

을 계산하여 놓고 P/D 및 η_p 와 반류계수 w 의 관계로 표시되어 있는 도표 5를 봄으로써 구할 수 있다.

w 의 값은 프로펠러 피치비에 큰 영향을 끼쳐서 그 선정에 주의를 요하지만 대체적으로 다음과 같이 쉽게 구한다.

- a) Keel식 $L/\Delta^{\frac{1}{3}} \leq 4.5$ 일때 $w = 0.25$
 $4.5 < L/\Delta^{\frac{1}{3}} \leq 5.0$ 일때 $w = 0.15$
 $5.0 < L/\Delta^{\frac{1}{3}}$ 일때 $w = 0.10$
- b) Bracket식 $w = 0.05$
- c) 상하식(Universal joint) $w = 0$

③식에서 구한 값은 횡축상에서 찾고 이것의 직상에서 선미형상에 의해 구해진 반류계수에 상당하는 η_p 의 곡선, P/D와의 곡선과의 교점을 읽으면 η_p , P/D가 정해진다. 정해진 P/D에 프로펠러 직경 $D(\text{m})$ 을 정하면 3익 프로펠러의 피치(P)가 구해진다. (도표 5)

다. 전개 면적비의 산출

극히 간단하게 대략의 전개면적비를 구할 수 있으면 대단히 편리하다. 기존 발표된 간단한 판정법이 있지만 최근의 소형 FRP 어선은 $V_s \sqrt{L}$ 의 값이 이미 고속정의 영역에 들어있는 정도이므로 캐비테이션 발생이 없다고 생각할 수도 있다.

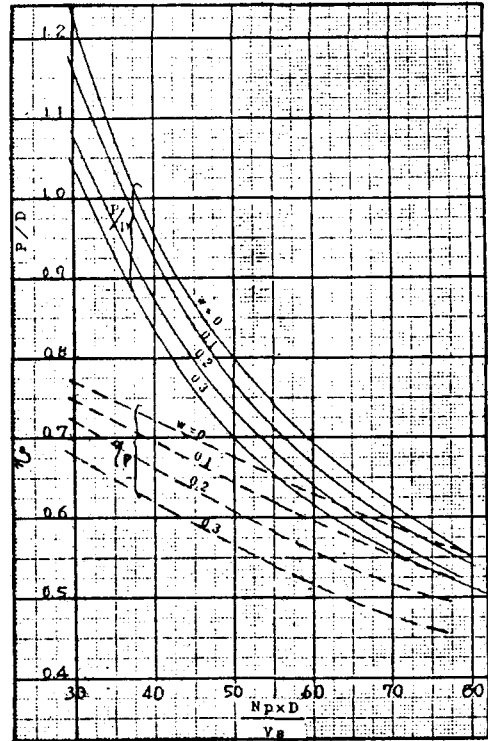


도표 5 피치비, 효율의 추정식. (UB3-35 기준)

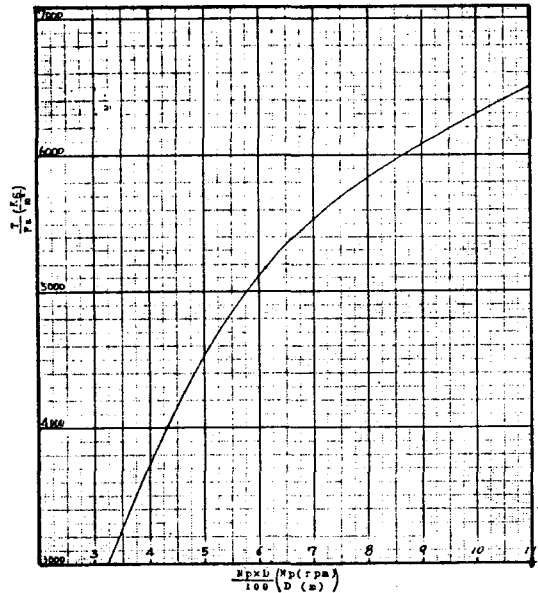


도표 6 전개면적비의 계산

이런 점을 고려해서 소형 FRP 어선용의 전개면 적비 산정도표를 도표 6에 표시하였다. 본 도표로부터 얻어진 전개면적비보다 약간 큰 값을 채용하면 실용상 지장이 없다고 생각된다.

다음은 실제 FRP 어선에 적용한 것을 예를 들어 보았다.

○G/T 9톤형 Keel식 어선

-주어진 조건

- 1) $L_{oA} = 13.0m$ $B = 3.0m$ $D = 1.25m$
- 2) 주기최대마력 및 회전수 110 BHP, 790 rpm

3) 최대 프로펠러 직경 (D_{max}) 800mm

4) 경하상태에서의 조건으로 함.

$L \times B \times D = 48.8$ 을 이용해서 도표 3으로부터 경하용의 배수량 $\Delta = 12$ 톤을 결정, 도표 2에서 $L = 13m$ 에 대응하는 기준배수량은 $\Delta_0 = 6.7$ 톤으로 됨을 알 수 있다.

마력의 수정은

$$BHP' = 110 \times 6.7 / 12.0 \approx 61.4 \text{ PS}$$

로 되고

$$L = 13m \quad BHP' = 61.4 \text{ ps}$$

에서 도표 2로부터 선속을 읽으면 11.1 kt 가 된다.

다음은 $BHP = 110 \text{ ps}$ 을 $V_s = 11.1 \text{ kt}$ 에서 나눈 값 $BHP/V_s \approx 10$ 과 $N_p = 790 \text{ rpm}$ 을 사용해서 도표 4로부터 프로펠러 직경을 읽으면 $D = 0.78m$ 가 된다.

$$N_p = 790 \text{ rpm}, D = 0.780m, V_s = 11.1 \text{ kt}$$

로부터

$$N_p D / V_s \approx 55.5$$

또한 $L / \Delta^{1/3} \approx 5.7$ 이므로 반류율 $w = 0.1$ 이 된다.

도표 5로부터 $N_p \times D / V_s \approx 55.5$, $w = 0.1$ 에 대응하는 P/D , η_p 값은

$$P/D = 0.710$$

$$\eta_p = 0.615 \text{ 을 얻을 수 있다.}$$

프로펠러 피치 P는

$P = 0.710 \times 0.780 = 0.544m$ 이것을 0.560m 로 하며 다음과 같이 전개면적비를 구한다.

$$BHP = 110 \text{ PS}, \eta_p = 0.65, V_s = 11.1 \text{ kt}, w = 0.10 \text{ 이므로}$$

$$T \text{ (kg)} = \frac{139}{V_s} \times \frac{BHP}{\eta_p / (1-w)} \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

에 대입하면 $T \approx 941 \text{ (kg)}$ 을 구할 수 있다. 한편 $D = 0.780m$, $N_p = 790 \text{ rpm}$ 으로부터

$$N_p \times D / 100 \approx 6.16$$

이 되므로

도표 6에서 $T / F_a = 5200 \text{ kg} / m^2$ 을 읽으며 날개의 전개면적 F_a 는

$$F_a = T / (T/F_a) = 941 / 5200 \approx 0.1810m^2$$

프로펠러 전원면적 F_o 은

$$F_o = (\pi/4) \times D^2 = (\pi/4) 0.78^2 = 0.4778m^2$$

가 된다.

$$\text{전개면적 } a_e = F_a / F_o = \frac{0.1810}{0.4778} = 0.380$$

따라서 채용할 전개면적비는 0.40~0.45 정도가 요망된다.