

선박의 축계설계와 선내설치(Ⅰ)

신 일 금 속 기 공
부 장 문 명 환

목 차

1. 선박(船舶)의 저항과 마력
2. 프로펠러의 설계
3. 추진축 및 축계 부품의 설계법
4. 추진 축계의 거치

1. 선박(船舶)의 저항(抵抗)과 마력(馬力)

선박이 일정한 속력으로 항주할 경우에는 여기에 많은 저항의 요소가 작용하게 되며, 선

표 1 선체 저항 추정 계산도표 적용

| 저항추정방법 | 선 종 | 적 용 범 위 |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|
| YAMAGATA 도표 | 일반 상선, 운반선, 트롤선, 어선 등에서도 대체적으로 적용됨 | 선박길이 대략 30m에서 400m |
| TAYLOR 도표 | 표준선형은 균함선형이며, 늑골선형상이 V형 | |
| NAGAMULA 도표 | 어선, 트롤선 등에서 주로 사용됨. | C_p 값이 0.55에서 0.75의 범위 |
| ROACH 도표 | 예인선 등에서 사용 | C_p 값이 0.56에서 0.68의 범위 |
| Bd SERIES BARGE 도표 | BARGE선의 저항 추정에 사용 | LE/d값이 0에서 7의 범위 |
| 모형 시험(수조)결과 | 모형선의 시험결과를 실선에 적용 | |

박의 크기나 선박의 요구목적에 따라 선박저항의 소요 마력은 크게 달라지게 될 것이다.

본고는 선박의 선종이나 크기에 따라 대략적인 저항의 추정방법과 마력선정에 따른 계산을 위한 각 효율의 요소를 간략하게 정리하였다.

표 1에 표기된 도표의 사용 방법은 도표의 특성에 따라 다소 차이가 있지만 선체의 주요요목과 선체의 형상 등에 의하여 계산되어지며, 이 값들은 크게 3가지로 분류하여 마찰저항, 형상 저항, 조파 저항으로 분류를 할 수 있으나, 실용상으로는 형상저항과 조파저항을 합친 잉여저항과 마찰 저항의 두가지 방법으로 저항을 결정한다. 이것의 결과는 순수한 배의 저항을 나타낸 것이며, 이것을 마력으로 환산 하여 유효마력(EFFECTIVE HORSE POWER)이라 한다.

위의 도표나 수조시험의 결과만 가지고 기관의 마력이나 속력을 결정할 수는 없으며, 여기에 기관을 선정할 수 있는 여러가지 조건을 주어야만 한다. 여러 가지 조건 중에는 선형에 관련되는 선미의 반류와 추력 및 추력계수와, 타(舵)의 형상, 추진기의 수량, 기관의 출력과 추진기 회전수와의 관계, 기관의 위치, 축계의 동력 전달방식 및 운항조건 등에 따라 각 부분의 손실을 고려하여 결정하여야 한다.

가. 반류(伴流)의 계산

반류속도(Vw) = 배의 속도(Vs) - 계측된 점에서의 물의 속도(Va)

반류는 반류의 속도로 표기하지 않고 배의 속력과 반류의 속력으로 나눈 비율(w)로 표기하여 사용한다.

$$Vw = Vs - Va = w \times Vs$$

$w = (Vs - Va) / Vs =$ 반류계수 (WAKE FRACTION) 이라 한다.

- 유선 반류 (STREAM LINE WAKE OR POTENTIAL WAKE) : 선체 주위에 일어나는 유선류에 의하여 생기는 것으로 선형에 관계하고 선수, 선미부에서 양(+)이고 선체현측부에서 음(-)으로 된다.
- 마찰 반류 (FRICTIONAL WAKE) : 배의 길이, 침수면적, 외판의 거치름 정도 등에 관계하고 선미에 가까워짐에 따라 그 값은 크며, 외판으로부터 거리가 크게 됨에 따라 급격히 감소한다.
- 파 반류 (WAVE WAKE) : 선미파 중의 유체입자의 절대 속도에 의하는 것이며, 배의 속도에 관계하고 양(+)이 되기도 하고 음(-)이 되기도 한다.
배폭 방향으로의 변화가 적으며 깊이 방향으로 감소한다. 고속의 날씬한 형의 2축선에서는 파반류가 커져서 전 반류가 음(-)으로 되는 일이 있다.
- 반류의 영향 : 반류의 값은 선미 부근의 형상, 선미 부근의 부착물에 따라 값이 변화하고 배의 길이에 비하여 폭이 큰 배, 배수량이 큰 배에서는 반류가 크게 된다. 반류의 값 결정은 PROPELLER를 계산하는데 큰 영향을 미치므로 반류의 결정은 아주 중요한 값이라 할 수 있다.

1) 1축선용 반류의 값

ㄱ) SCHOENHERR의 식

$$w = 0.10 + \frac{4.5C_{vp} C_p (B/L)}{(7-6C_{vp})(2.8-1.8C_p)} + \frac{1}{2} \left(\frac{E}{d} - \frac{D}{B} - k'Deg \right)$$

- 여기서 C_{vp} : 종 주형 비척 계수
 C_p : 주형 비척 계수
 E : 축 심의 높이
 d : 홀수
 D : 추진기의 지름
 B : 선폭
 k' : 0.3
 Deg : 날개 경사각 (rad)

ㄴ) TAYLOR의 식

$$w = 0.5C_b - 0.05$$

여기서 C_b : 방형 비척 계수

ㄷ) VAN. LAMMEREN의 식

$$w = 0.75C_b - 0.24$$

ㄹ) ITU의 식

$$w = 0.82C_b - 0.277$$

ㅁ) 실험식 (아치선미재)

적용 범위 $C_b = 0.55 \sim 0.80$

$$1.5 < V/L^{1/2} < 3.0 \quad (0.246 < Fn < 0.493)$$

여기서 $V = \text{Knots}$, $L^{1/2} = m$

$$w = \{0.536 - 0.0714V/(L)^{1/2}\} C_b$$

2) 2축선용 반류의 값

ㄱ) SCHOENHERR의 식

- 외회전 추진기 - BOSSING의 경우

$$w=2C_b^5(1-C_b)+0.2\cos^2(3ST/2)-0.02$$

여기서 ST : 보싱의 수평과 이루는 각(Deg)

○ 내회전 추진기 - BOSSING의 경우

$$w=2C_b^5(1-C_b)+0.2\cos^2((3/2)(90-ST))+0.02$$

○ STRUT의 경우

$$w=2C_b^5(1-C_b)+0.04$$

ㄴ) TAYLOR의 식 - STRUT 및 BOSSING의 경우에도 적용

$$w = 0.55C_b - 0.2$$

ㄷ) VAN. LAMMEREN의 식 - STRUT 및 BOSSING의 경우에도 적용 함.

$$w = (5/6)C_b - 0.353$$

ㄹ) LUKE의 식 - STRUT의 경우

$$w = 0.828C_b - 0.232$$

ㅁ) LUKE의 식 - BOSSING의 경우

$$w = a+mC_b \text{ (그림 참조)}$$

ㅂ) HARVALD의 도표 - 1축선 및 2축선의 경우와 STRUT 및 BOSSING의 경우에도 적용함.

나. 추력의 계산

배가 전진할 때 저항과 추력은 같은 크기로 평형을 이루어야 하므로 배가 끌려서 달리고 있을 때의 저항(R)과 끌려고 하는 장력과 같은 힘 즉 추력(T)은 추력측에서 생각하면 T(추력)를 낼 때 R(저항)과 평형을 이루게 되므로 T-R만큼 추력이 감소하였다고 볼

수 있다.

이와 같은 추력 감소량 T-R을 T로 나눈 값을 추력 감소계수(THRUST DEDUCTION COEFFICIENT)라 하고 t로 표기한다.

$$t = \frac{(T-R)}{T} \text{ 또는 } \frac{R}{T} = 1-t$$

t의 값은 추진기가 선체에 대한 영향을 나타낸 것으로 선미 형상 구조물 등의 영향에 따라 값이 변화하게 된다.

1) 1축선용 추력계수의 값

ㄱ) SCHOENHERR의 식

$$t = k \cdot w$$

여기서 w : 반류의 값

k : 유선형 타의 경우 0.5~0.70

단판 타의 경우 0.9~1.05

4각형 타두재에 이중판 타의

경우 0.7~0.90

ㄴ) 산현의 식

$$t = k \cdot w(1.63+1.5C_b-2.36C_{vp})$$

여기서 C_{vp} : 종 주형비척계수(VERTICAL PRISMATIC COEFFICIENT)

ㄷ) VAN LAMMEREN의 식

$$t = 0.5C_b - 0.15$$

2) 2축선용 추력계수의 값

ㄱ) SCHOENHERR의 식

○ BOSSING의 경우

$$t = 0.25w + 0.14$$

○ STRUT의 경우

$$t = 0.70w + 0.06$$

ㄴ) 산현의 식

$$t = w(1.73+1.50C_b-2.36C_{vp})$$

ㄷ) VAN LAMMEREN의 식
 $t = (5/9)C_b - 0.205$

다. 동력과 효율과의 관계

배의 속력은 고출력 기관을 동력으로 하여 운항한다고 하여 좋은 속력과 능률적인 운항이 된다고 생각할 수 없듯이, 동력의 전달 과정에서 생기는 마력의 손실을 고려하여 적절한 크기의 기관과 추진기를 사용하여 효과적으로 사용해야 할 것이다. 따라서 각 마력의 표기법과 효율과의 관계를 정리하여 보기로 한다.

$EHP = V \cdot R / 75, \quad THP = Va \cdot T / 75$

라고 하면 선체효율 (HULL EFFICIENT) 은 아래와 같이 표기된다.

$ETA_h = \frac{EHP}{THP} = \frac{1 - T}{1 - w}$

- 여기서 EHP : 유효 마력 (EFFECTIVE HORSE POWER)
- THP : 추진 (추력) 마력 (THRUST HORSE POWER)
- T : 추력
- Va : 물속의 상대속도 (SPEED OF ADVANCE)
- V : 배의 속도 (SPEED OF SHIP)
- R : 전 저항 (TOTAL RESISTANCE)

통상 추진기의 설계는 추력 감소 계수 및 추력을 계산하여 추력일치법으로 추진기를 결정하는 수가 많으므로 신중히 검토하여야 한다.

1) 추진 효율의 관계식

추진기가 회전할 때 동력 측에서 실측한 마력과 추진기에서 소비되는 마력에는 다소 차이가 있으므로 아래와 같이 표기 하였다.

$DHP = (2 \times PI \times Q \times n) / 75$

$ETA_a = \frac{THP}{DHP}$ 또는 $ETA_a = \frac{To \times Va}{2 \times PI \times n \times Q}$

- 여기서 PI : 3.14159
- Q : 실측한 토크 (TORQUE)
- n : 회전수
- Va : 물의 대수 속도

또한 실측한 추진기의 효율과 추력일치법으로 선정된 추진기에서 발생하는 추력의 토크는 반류 및 Va의 영향으로 차이가 생기게 되므로 실측 추력마력과 구별하기 위하여 아래와 같이 표기하였다.

$THP' = \frac{T'Va}{75}$ 이므로 $ETA_o = \frac{THP'}{DHP}$

또는 $ETA_o = \frac{To \times Va}{2 \times PI \times n \times Q_o}$ 이라 하면

$\frac{ETA_a}{ETA_o} = \frac{THP}{THP'} = \frac{T}{T'} = ETAr = \frac{Q}{Q_o}$ 즉 추진기

효율비 (RELATIVE EFFICIENCY) 라 한다.

이 값은 추진마력과 공급된 마력의 비와 추진기의 단독효율과의 비율 관계를 나타낸 식이며, 추진기의 개수에 따라 조금씩 차이를 둔다.

1축선용 $ETAr : 1.00 \sim 1.10$ 평균 1.05

2축선용 $ETAr : 0.95 \sim 1.00$ 평균 0.98

통상 추진기 효율비는 아래의 식으로 표기하여 사용할 수도 있다.

$ETAr = 1.716 - 2.378C_b + 1.742(C_b)^2 - 0.0308 [(V/L^{1/2}) \times C_b] + 0.631[D/\Delta^{1/3}]$

- 여기서 $V/L^{1/2}$: 속장비
- D : 추진기 직경
- Δ : 배수 용적

따라서 주기판에서 발생하는 토크와 실제

추진기에서 전달되는 토크의 관계를 정리하여 아래와 같이 표기하여 사용한다.

$$Q_o = \text{ETA}_r \times Q$$

$$Q = \frac{\text{DHP}}{2 \times \text{PI} \times n} = \frac{\text{ETA}_t \times \text{BHP}}{2 \times \text{PI} \times n} \quad \text{또는}$$

$$= \frac{\text{ETA}_t \times \text{ETA}_g \times \text{BHP}}{2 \times \text{PI} \times n} \quad \text{이므로}$$

$$Q = \text{ETA}_r \times Q = \frac{\text{ETA}_r \times \text{ETA}_t \times \text{BHP}}{2 \times \text{PI} \times n} \quad \text{또는}$$

$$= \frac{\text{ETA}_r \times \text{ETA}_t \times \text{ETA}_g \times \text{BHP}}{2 \times \text{PI} \times n} \quad \text{이 된다.}$$

여기서 ETA_g : 감속기 장치가 있을 경우
0.97~0.98

선박의 유효마력과 전 효율의 관계를 정리하여 선박에 필요한 동력을 확정하기 위하여 전 효율을 아래의 식과 같이 정리 하였다.

$$\text{PC} = \frac{\text{EHP}}{\text{BHP}} = \frac{\text{DHP}}{\text{BHP}} \times \frac{\text{THP}'}{\text{DHP}} \times \frac{\text{THP}}{\text{THP}'} \times \frac{\text{EHP}}{\text{THP}}$$

$$= \text{ETA}_t \times \text{ETA}_o \times \text{ETA}_r \times \text{ETA}_h$$

또한 감속기(치차)를 장비한 경우에는 아래와 같이 사용한다.

$$\text{PC} = \frac{\text{EHP}}{\text{SHP}} = \frac{\text{DHP}}{\text{ETA}_g \times \text{BHP}} \times \frac{\text{THP}'}{\text{DHP}} \times \frac{\text{THP}}{\text{THP}'} \times \frac{\text{EHP}}{\text{THP}}$$

$$= \frac{1}{\text{ETA}_g} \times \text{ETA}_t \times \text{ETA}_o \times \text{ETA}_r \times \text{ETA}_h$$

여기서 PC : PROPULSIVE EFFICIENCY
(선박 추진 전 효율)

ETA_g : 감속기 장치의 효율

ETA_t : 전달 효율 (TRANSMISSION EFFICIENCY)

ETA_o : 추진기 효율

ETA_r : 축의 수량 및 추진기 효율비

ETA_h : 선체 효율

(HULL EFFICIENCY)

(다음호 연재)

