

# 선박의 추진력에 대하여

한국어선협회 충남지부  
 검사원 채영진

선박에서 추진기(推進器: Propeller)라 하면 일반적으로 스크루프로펠러를 말하고 있다. 프로펠러는 자신이 독립해서 정하여지는 것이 아니고 선체, 기관의 양자의 조합에 의하여 정해지는 것으로써 조선공학상의 선체구조에 따른 저항과 추진 그리고 유체역학적 전이에서의 이론, 추진력 발생의 기관출력에 따른 기계공학적인 영역에서 결정된다고 본다.

## 1. 선박의 속력과 프로펠러 (Screw Propeller)의 회전과의 관계

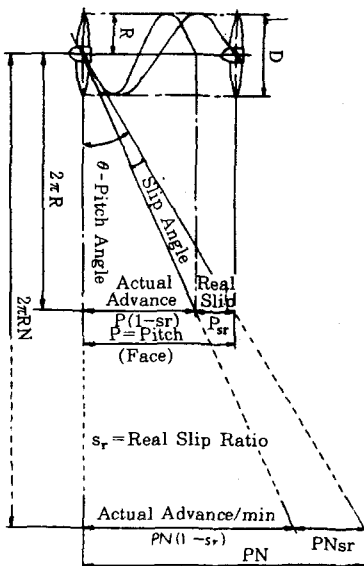


그림 1.

그림 1에서 보는 바와 같이 프로펠러의 날개면을 나타내면 1회전하면 1피치 즉,  $P \times N$  meter 전진한다. 따라서 1분간에  $N$ 회전하면  $P \times N$  meter 전진한다. 그러므로 1분간에  $N$ 회전하는 프로펠러의 속도  $V_p$ 는  $(P \times N)m/min$  또는  $\frac{P \times N \times 60}{1,852}$  (kt) =  $\frac{P \times N}{30.87}$  (kt)이다.

그러나 프로펠러는 고체속에서 진행 하는 것이 아니고 유동체인 물이기 때문에 실제로는  $P \times N$  만큼 진행하지 못하고 미끄러짐이 생긴다. 이 미끄러짐을 겉보기 슬립 (Apparent Slip)이라 하며 실제 배의 속도를  $V$  kt라 하면,

$$\text{겉보기 슬립} : V_p - V = \frac{P \times N}{30.87} - V$$

여기서 프로펠러속도  $V_p$ 는  $\frac{P \times N}{30.87}$  (kt)이다. 겉보기 슬립을 프로펠러속도로 나눈것을 겉보기 슬립 비(比) (Apparent slip ratio)라 하고 일반적으로 슬립이라 말하는 것은 이 겉보기 슬립비를 말하는 경우가 많다.

겉보기 슬립비를  $S_a$ 라하면

$$S_a = \frac{V_p - V}{V_p} = \frac{\frac{P \times N}{30.87} - V}{\frac{P \times N}{30.87}} = 1 - \frac{30.87 - V}{P \times N}$$

된다.

그러나 배가 전진할 때 물은 움직이지 않는 것으로 가정하였으나 실제로는 선체 주위의 물은 선박의 진행방향을 따라서 흐르게 된다. 이 흐름을 반류(伴流: wake)라 말하며 특히 선박의 후부(後

部)에서 그 크기는 더욱 크다. 따라서 반류속에서 프로펠러가 회전하는 배의속도 V보다 반류의 양만큼 늘어난 물속으로 회전하는 것으로 된다. 프로펠러는 수중에서 회전함으로써 주위의 물에 작용하므로 주위의 물의 속력을 감안하는 것이 합리적인 것이다. 이 물에 대한 속도를 프로펠러의 전진속도(前進速度: Advanced Speed)라 하고 앞에서의 배의속도 V와 구별하여 Va(반류를 고려한 배의속도)로 표시하기로 하고 V대신에 Va를 사용하면 참슬립(Real Slip)이 얻어진다.

$$\text{참 슬립} : V_p - Va = \frac{P \times N}{30.87} - Va$$

이것을 프로펠러속도로 나눈 것을 참슬립비(Real Slip Ratio)라 하고 이를 Sr이라 하면,

$$Sr = \frac{V_p - Va}{V_p} = \frac{V_p - (V - Vw)}{V_p} = \frac{Vw}{V_p} + Sa$$

$$= 1 - \frac{30.87 \times Va}{P \times N}$$

V ; 배의속도

Va ; 반류를 고려한 배의전진속도(Va=V-Vw)

Vw ; 반류속도

여기서 반류의속도 Vw는 선속의 약 1/10이지만 선속, 선체형상, 외판의 크기와 그 골조에 의해, 더군다나 장소에 의해 일정치 않으므로 실선의 프로펠러의 주위의 반류를 정확하게 아는 것은 곤란하기 때문에 참슬립은 이론, 해석, 또는 실험, 연구 등에서만 사용되고 보통은 겉보기 슬립을 사용한다.

## 2. 프로펠러의 설계

전조된 선박의 선체와 속력에 알맞는 프로펠러를 만들기 위해 가장 알맞는 조건을 선택하고, 최소의 마력 즉, 최소의 연료로써 운항능률을 높이려고 하는 것이 프로펠러의 설계목적이다. 이러한 프로펠러를 설계할 시는 선체의 제조조건, 기관에 관계되는 제조조건, 축계의 제조조건을 설계전에 정확하게 파악 검토후 설계되어야 할 것이다.

### 1) 선체의 제조조건

선체의 주요촌법 및 비척계수의 값, 선박의 종류, 선체의 형상, 프로펠러 위치부근의 형상, 키

의 형상을 고려하여야 하며 선체의 형상에 따른 속력의 정확한 추정을 위하여 선체저항의 크기 및 추진 성능을 검토해야 하고 반류계수의 값, 추력 감소의 값 및 계획속력에 있어서 도달예상속력을 점검해야 되는 것이다.

### 2) 기관에 관계되는 제조조건

기관의 종류, 형식, 수, 특징, 기관의 출력과 회전수와와의 관계 즉, 기관축의 계단이 되는 상용출력, 허용하는 회전수의 상한, 우력(Torque)의 상한 등을 점검해야 한다.

### 3) 축계에 관계되는 제조조건

감속기어의 유무, 형식, 프로펠러의 회전수 및 회전방향 프로펠러의 전달마력, 프로펠러의 소비마력, 축계의 고유진동수, 프로펠러 축의 촌법 등을 점검후 설계되어야 한다.

## 3. 프로펠러의 일반적인 손상과 대책

### 1) 블레이드의 변형 및 파괴

이런 사고는 주로 항해중에 발생하는 것이 보통이다. 이런 사고가 발생하면 항해중의 선박운명을 좌우하게 된다. 보통 사고의 원인은 프로펠러의 공작상 불량, 재질의 불량, 주조시의 결여, 수류의 작용 등 여러가지 원인을 들 수 있다. 특히 조립식 프로펠러의 경우 항해중에 블레이드의 탈락사고가 나는 경우가 있다. 이 원인은 Boss부에 취부된 Bolt에 침입한 해수 때문에 부식 또는 피로로 인하여 절단되는 경우가 있다. 이것은 볼트가 초기 체결당시 인장력 또는 추진력 변동에 따른 인장력이 가일층 작용하여 피로강도를 초과하여 응력이 발생하게 될 때 해수가 침입하면 피로, 파괴가 발생하여 볼트가 파괴된다. 이런 사고를 방지하기 위해선 캡 너트 취부시 해수가 침입하지 않도록 가공정도를 충분히 하여야 한다.

### 2) 블레이드의 만곡

블레이드의 선단에 가까운 부분이 휘어지는 사고는 자주 일어나는 사고로써 원인은 유목(流木), 유빙(流氷) 기타 부유물이 회전하고 있는 프로펠러 날개에 접촉하는 경우 프로펠러는 회전하고 있으므로 날개선단의 전연부에 만곡이나 요철이 생긴다. 역회전 할 때는 익선단의 후연부에 요철

이 생긴다. 특히, 출·입항시 와이어로프 등에 감겨서 만곡되는 경우가 많으므로 유목, 유빙이 많은 해면을 항해할시나 출입항시에 조선(操船)에 충분히 주의를 하여야 한다. 또 다른 경우에는 배면 공동현상(空洞現象)에 의한 기포의 붕괴 작용에 의하는 수가 있다. 이 경우에는 날개선단의 후연의 얇은 부분이 압력면측에 휘게 된다. 이러한 특징은 각 블레이드에서 대체로 같은 위치에 생기므로 쉽게 알 수 있다. 이것은 공동현상(空洞現象)에 의하여 발생한 기포가 블레이드의 후연부근에서 급격히 될 때 그 부분을 강타하여 일어나는 현상으로써 공동현상이 장기간 생기는 경우는 이곳에 구멍이 생기는 수가 있다. 이것을 침식이라고도 하며 이런 이유로써 배면(背面) 공동현상이 생기지 않는 프로펠러를 설계해야 되는 것이고, 만곡이 생기기 쉬운 0.9R 부근의 날개선단의 후연 두께를 약간 증가시켜 놓으면 된다. 이것을 수정하기 위해서는 약 700°C 정도로 가열하여 해머로써 바꾸거나 공동현상이 심하게 일어나는 부분이 적을 경우에는 절단하거나, 절단후 용접으로 보수하는 경우도 있다.

### 3) 블레이드의 균열

외부로부터 충격 등으로 균열이 생기지 않더라도 장기간 사용하는 가운데 갖가지의 응력을 반복해서 받은 결과, 시간이 경과함에 따라 균열이 일어난다. 균열의 정도여하에 따라 보수의 필요 여부도 결정되겠으나 그대로 방치하면 결국에는 균열의 정도가 커져서 절손되는 수가 있으므로 발견시에는 빨리 수리하여야 한다. 균열의 발생 원인은 재질 및 주조의 불량과 공동현상에 의하여 생기는 침식이 원인이 되며 균열이 차츰 크게 확대되어 가는 수가 있다. 균열부위를 용접 보수할 때 그 프로펠러의 재질에 잘 부합되는 용접봉을 사용하거나 적절한 용접법을 적용시켜야 하며 용접후에 반드시 300°C 정도의 온도에서 풀림처리(Annealing)하여 놓을 필요가 있으며 이것을 게울리하면 보수후에 다시 용접경계선 부근에 균열이 생기는 경우가 많다. 또 흰 곳을 두드려 바로잡을 경우에는 상온의 상태에서 두드리지 말고 700°C 정도 가열하여 처리한 다음 가공후에 풀림처리를 하여야 한다.

### 4) 블레이드의 절손

항해중에 날개가 절손되는 사고는 프로펠러에서는 중대한 일이므로 블레이드의 균열에 부주의하면 차츰 균열이 확대되어 약간의 충격에도 절손되는 수가 있다. 항해중 파괴된 망간-브론즈 재질의 프로펠러 파괴현상을 조사해본 결과 파괴의 대부분은 전진면의 블레이드부근의 최대날개 두께위치부근을 파괴의 기점으로 하는 인장파괴 파괴 때문이다. 이것을 방지하기 위해선 설계당시 피로 강도에 대하여 충분한 여유를 주어야 하고 프로펠러구조 및 검사과정에서 균열 여부 가능성을 충분히 검토해야 되는 것이다.

### 5) 프로펠러의 진동

프로펠러는 선체 및 축계에 여러가지 진동이 일어나게 된다. 프로펠러자체에 일어나는 진동이라던가, 프로펠러축을 구동하는 추진기관, 특히 디젤기관과 같은 크랭크 축의 비틀림에 의한 진동 등 모두 복잡한 진동계이지만 우선 프로펠러에 의하여 생기는 경우에는 다음과 같은 경우이다.

**첫째:** 공작상, 불량인 경우로써 프로펠러의 지경, 피치 등이 총합상 균일하지 못하여 각 블레이드간의 추진력이 불균일한 경우 발생하며 또 프로펠러의 중심이 축중심(軸中心)과 일치하지 않을 경우 추진력이 불균일한 경우에 일어나는 진동이다.

**둘째:** 프로펠러의 정적인 중량이 불평형인 경우와 동적인 불평형인 경우가 있다. 회전력에 의한 원심력 때문에 프로펠러축에 진동이 생긴다. 이 원인에 의한 진동을 방지하려면 프로펠러의 정적인 평형을 확실하게 하여 계속해서 고속회전 시키면 동적인 평행도 확보할 수 있는 것이다. 그러나 그의 정적, 동적 평형을 수정하여도 선체 후방에 흐르는 수류는 불평행한 고도 프로펠러에 의하여 진동의 원인이 잔류한다. 또 유체역학적인 진동으로써 프로펠러주변의 압력이 주기적으로 변하기 때문에 이것이 선미부의 선저외판, 선미외판, 타판을 통해서 선체에 전달되는 경우가 있다. 다시말해서 프로펠러의 1매의 날개가 선저외판에 가까워지면 선저외판에 접하는 부분의 수압도 저하한다. 이런 현상이 되풀이 되면 선저외판에는 계속 수압의 변동이 생기기 때문에 진동이 발생하는 것이다.

## 4. 프로펠러가 선체 및 기관에 부적합한 경우

이것은 프로펠러가 무거운 경우, 혹은 가벼울 경우를 말하는 것으로 전자는 선박의 계획배수량에 있어서 규정의 출력에 대하여 규정의 회전수가 없는 경우이다. 후자는 회전수가 상승하여도 규정의 출력을 얻지 못하고 계약된 속력을 얻지 못하는 경우이다.

### 1) 프로펠러가 무거운 경우

해상시운전 중에 프로펠러를 작동시키면 기관의 배기온도가 높고 정격회전수까지 회전시키면 위험한 경우가 있다. 이때는 규정의 회전수까지 회전을 올리면 위험하다. 이 경우는 피치가 큰 경우이며 프로펠러에 필요 이상의 우력이 생긴 경우이다. 피치가 큰 원인은 선박의 마력과 속도추정에 오차가 있거나 반류계수의 추정이 부적당하거나 전달마력 값이 적당하지 않거나 한 경우이다.

그 대책으로써 다음과 같은 2 가지 방법으로 나눌 수 있다.

**첫째 :** 날개면 형상을 변경하여 프로펠러의 유효 피치를 감소시키는 방법으로 이 방법은 가공이 곤란하거나 또는 회전수 부족이 비교적 적지 않을 경우에 효과가 있으며 가장 보편적으로 많이 쓰는 방법인 것이다.

**둘째 :** 직경을 감소시키는 방법으로 직경을 적게 하면 피치가 동일하여도 프로펠러를 동일 회전수에서 회전시켜도 우력(Torque)의 양은 현저하게 감소시킬 수 있다. 다시 말해서 동일출력의 회전수는 상승하게 되는 것이다. 직경의 감소율이 심할 경우에는 속력의 저하는 심하기 때문에 해상시운전 성적서를 충분히 검토해야 된다.

### 2) 프로펠러가 가벼울 경우

이 경우는 해상시운전시 정격회전수에 있어서

기관의 배기온도가 낮게 되고 계획의 마력을 발생시키지 못할 경우이다. 결과적으로 선박은 계획속력에 도달하지 못하게 되며 이러한 원인은 대체로 프로펠러의 피치가 적을 경우라고 볼 수 있다. 그 대책으로는 좋은 방법이 없고 피치가 적은 경우에는 새로운 프로펠러를 설계 제작해야 된다. 운항중에 있어서 선체의 시 마진을 고려하면 선박전조시의 해상시운전에 있어서는 정격회전수보다 약 2~3%정도 높게 프로펠러를 회전시키는 것이 좋다. 결론적으로 프로펠러가 무겁다. 혹은 가볍다 하는 것은 일률적인 것이 못되고 주기관의 종류, 형식, 선박의 취항조건에 따라 다르다. 특히 프로펠러가 적합하지 않을 때 이것을 수정할 목적으로 날개를 해머로 두드려 피치를 가감하는 경우는 현명한 대책이 아니다. 해머를 두드려서 각 날개를 동일한 피치를 얻기는 불가능하며 만약 각 날개의 피치가 다르게 되면 운전중에 있어서 진동의 원인이 되고 블레이드를 두드려서 굽은 부분이 생기면 공동현상의 발생원인이 된다.

## 5. 맺음 말

본래 선박의 추진기 설계, 제작 및 개량 등의 연구는 특정 전문가에 의해서 이루어지고 있으므로 이름있는 제작회사에서 만든 제품은 제반 성능이 우수한 편이나 아무리 우수한 제품이라 할지라도 잘못 사용하면 그 성능을 발휘할 수 없을 뿐만 아니라 경미한 사고에도 운항능력을 상실하게 되는 경우가 많다. 따라서 추진기를 제작, 수리하는 사람은 물론 기관을 움직이는 취급자는 그 작용과 성능을 충분히 이해하여 제작자, 정비업체, 취급자가 공동일체가 되어 사고를 미연에 방지할 수 있도록 최대한의 노력을 해야 되는 것이다.