

## 5 톤급 Hydrofoil Boat 의 建造 研究報告

박 선 영\* · 송 준 태\*\*

북극의 해상루트를 통한 침범이 날로 격증하는 이즘, 해안 방위와 밀수방지 등 국가적인 견지와, 여객운반 및 관광등 일반용으로 고속정의 수요가 늘어 이에 대한 연구 개발이 시급히 요망되는바 본 해군 공창에서는 hydrofoil boat 의 제작성을 다각도로 검토하고 앞으로의 실전목적에 영합할 수 있도록 연구개발키 위해 소형 5 톤급 hydrofoil boat HB-10 호정을 건조하게 되었다.

보통 planning hull 을 사용할 경우 고속을 얻기 위해 요구되는 기관마력은 막대하며 또한 속도도 25 kts-30 kts 를 상회하기 어렵다. 이때 hydrofoil 을 이용하므로서 planning hull 보다 적은 마력으로 고속을 얻을 수 있는 바, 우선 "hydrofoil boat"라 함은 hydrofoil supported craft, 다시 말해서 선체 하부에 hydrofoil 을 취부하여 선체의 속도가 차차 증가함에 따라 hydrofoil 주위의 circulation 에 의해 발생된 dynamic lift 로 선체를 수면상으로 안전히 lifting 함으로서 불필요한 저항을 대폭 제거시켜 적은 마력으로 고속을 얻을 수 있는 boat 를 말하는 것임. 선체가 완전히 수면상을 떠나는 순간, 다시 말해서 선체 buoyancy 에 의해 지지되던 선체 중량을 단지 foil 에서 발생한 lift 로서 지지되는 순간의 상태를 take-off 이라고 하여 이때의 속도를 take-off speed 라고 한다. 일단 take-off 한 선체는 마력의 증가없이 어느 한계 속도까지 항주를 계속하는 바 이 상태를 flying 상태라고 하며 이때 선체 중량은 foil lift 에 의해 지적되므로 다음의 관계가 성립한다.

$$\Delta = L = C_L \rho / 2 S V^2 \tag{1}$$

- $\Delta$  : displacement
- $L$  : lift force
- $C_L$  : lift coefficient
- $\rho$  : density
- $S$  : foil projected area
- $V$  : cruising speed

이 때 선체의 저항은 foil 몇 strut 와 기타 수중에 잠긴 부속구에 발생하는 drag 이며 foil drag 는 다음식 으로 표시된다.

$$D = C_d \cdot \rho / 2 \cdot S \cdot V^2 \tag{2}$$

$C_d$  : drag coefficient

항주시 foil 단면의 base chord 와 foil 의 운동방향과 이루어지는 각도를 보통 attack angle 즉  $\alpha$  로 표기하는 바, 이  $\alpha$  의 간에 따라  $C_L$  과  $C_d$  가 결정되므로 Foil 의 설계 취부시 주의를 요한다.

### 설계 및 건조 과정

#### 1. 선 체

다른 용도로 이미 건조된 28' S.F.B 를 사용하고, foil 취부위치에는 web frame 과 plate 로서 보강하고 foil 취부로 인한 집중하중을 견딜수 있도록 종강력을 보강키 위해 longitudinal I-beam 을 설치한다.

\*正會員, 海軍中領, 海軍工廠  
 \*\*正會員, 海軍少尉, 海軍工廠

2. Foil

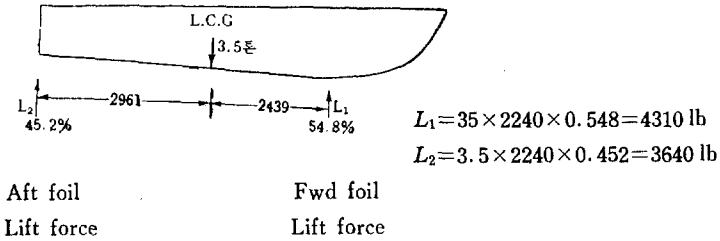
가. Naca 16-308 air foil series 중

Naca 16-35308 foil section 을 사용함.

$$C_1=0.353 (\alpha=0^\circ \text{ 때})$$

$$t/c=0.08$$

나. fwd foil 과 aft foil 의 취부위치가 결정됨에 따라 fwd foil 과 aft foil 의 lift force 를 구할 수 있다.



다. 이에 필요한 foil area 는

(1) 식을 이용하여 구할수 있다.

$$S_F = \frac{L_1}{L L(\rho/2) V^2} = \frac{4310 \times 64.4}{0.353 \times 64 \times 1.689^2 \times 30^2} = 4.8 ft^2$$

$$S_A = 4.50 ft^2$$

이는  $\alpha=0^\circ$  take-off speed=30 kts 의 경우이며 attack angle 과 take-off speed 를 변화시켜 여러가지 foil area 를 얻을 수 있으며, 이를 기초로하여 foil 을 설계하였음.

라. fwd foil 은 surface piercing foil 로 하여 속도가 증가함에 따라 적절한 foil area 를 유지하도록 하였고 aft foil 은 submerged foil 로 함.

마. foil thickness 가 너무 얇아 강판에 의한 용접 fabrication 이 용이치 못하여 Mn-bronze 합금을 사용, fwd foil 은 좌현, 우현 및 양현을 연결하는 중앙부분으로 3 분하여 주물로제작, grinding 가공후 용접 하였음 aft foil 을 foil 부분과 strut 부분을 분리하여 주물로제작 grinding 가공후 용접함. 이에 따라 foil 중량을 예상보다 훨씬 증가하여

$$\text{fwd. foil}=1420 \text{ lb}$$

$$\text{aft. foil}=1220 \text{ lb}$$

총계 2640 lb ≈ 1.2 톤에 달함.

바. fwd foil 을 양현을 관통하는 shaft 로서 Foil 을 취부용접하였고, aft foil 은 strut 를 선미부에 관통시켜 취부함. aft foil 의 center strut 의 중심 부분은 hole 로 하여 engine cooling 용 해수흡입장치로 사용함.

3. Engine :

325 hp in-and-outboard Mercruiser engine 을 전용하였으며 engine shaft 는 extension rib 를 제작하여 수직으로 70 cm 연장하였으며 enging cooline water 는 aft foil 의 strut 를 통하여 흡입함. steering system 은 propeller 의 추진각도를 조절함으로서 가능하였음.

가.  $\frac{\text{model test}}{\text{linear size ratio}} (\text{ship : model}), =5$  model 의 선체 및 foil 을 제작함. foil 은 Mn-bronze 합금을 사용하여 주물제작함.

나. PL-11 호정으로 towing 하여 often-sea test 를 행함. 설비미비로 정밀하지는 못하나 다음 data 를 얻음.

(i) fwd foil :  $\alpha=1.5^\circ$

aft foil :  $\alpha=1^\circ$

(ii) 장력  $T=25$  lb

(iii)  $(R_T)m=25$  lb

(iv) take-off speed=12 kts

다. 이때 model ship 을  $V=12$  kts 에서 완전 take-off, 양호한 running 상태를 보여 주었으며 항주중 port 또는 stb'd 로 경사됨을 발견하였으나 이는 towing ship 의 bow wave 에 의한 disturbance 에 의한 것으로 방관하였음. 그러나 실선에 의해 시운전중 재차 같은 현상이 일어났으며, 이는 stability 의 부족 현상으로 인한 것임이 판명됨.

라. model ship test data 를 기초로하여 실선의 EHP 를 계산. 측정함.

1) take-off 시 소요 EHP=243 hp

2) flying 상태시 소요 EHP=221 hp

이 값들은 충분한 여유를 고려한 것이나 실선의 중량이 3.5 ton 이 초과할 경우 325 hp Mercruiser engine 으로서는 기관마력의 부족을 예상케 함. 그러나 선체의 보강작업 및 foil 제작을 시작하여 1969 년 8 월 18 일 진수시운전에 돌입함.

## 1 차 시 운 전

가. 시운전 상태

1)  $\Delta=5$  ton

foil 및 선체보강장치에 의한 weight 의 증가 및 engine weight 의 중량의 과도로  $\Delta$  는 3.5 ton 에서 5 ton 으로 증가함.

2) 중량의 증가로인해 L.C.G 또한 변화하게되고 변화된 L.C.G 에 의해 fwd foil 과 aft foil 의 양력비는

$L_1 : L_2 = 48\% : 52\%$ 로 됨. 이 경우 각 foil 에 필요한 lift force 는

$$L_1 = 5 \times 2240 \times 0.48 = 5376 \text{ lb}$$

$$L_2 = 5 \times 2240 \times 0.52 = 6824 \text{ lb}$$

3) fwd foil attack angle=2.5°

aft foil attack angle=2.5°

$$\therefore C_L = 0.5$$

나. 1 차 시운전 결과

1) fwd foil 은 조기 take-off 이 일어남. 그 이유는 L.C.G.의 변화로 인해 부하된 lift force 의 감소 및 trim by the stern 에 의해 attack angle 의 증가되었기 때문이다. 이때 propeller rpm 은 1900—2100임. take-off speed 는 계산상.

$$V = \sqrt{\frac{5376 \times 64.4}{64 \times 0.5 \times 13 \times 1.689^2}} \approx 17 \text{ kts}$$

이며 실제로이에 가까운 속도에서 take-off 가 일어났음.

2) aft foil 은 strut 에 foil 용접시 일어난 비틀림과 과도한 부하로 인해 양력이 부족하였고 속도가 증가함에 따라서 fwd. foil 의 과도한 lift 로 인하여 좌현으로 경사함.

3) aft foil 의 foil area 를 증가시켜 좌우현의 비틀림이 없이 다시 취부하여 시운전함.

다. 2 차 시운전

1) aft foil 도 take-off 함. 그때 속도는 계산상.

$$V = \sqrt{\frac{6824 \times 64.4}{64 \times 0.5 \times 10 \times 1.689^2}} \approx 21 \text{ kts}$$

2) fwd foil 이 17 kts 에서 take-off 한 후 계속 전진함에 따라 V=21 kts 에서 aft foil 도 take-off 하나 이때 fwd. foil 의 lift 가 과도하여 수면에서의 어떤 길이를 유지하지 못해 lift force 를 상실하므로 순간 평형을 잃어 기울어짐.

3) 이를 시정하기 위해 fwd foil 의 foil area 를 감소시켜 fwd foil 의 과도한 lift 를 제한키로 함. 따라서 fwd foil 의 중앙부분을 2.3' 절단함. 이때 fwd foil 의 예상 take-off speed 는 21 kts 임.

4) 시운전 결과 propeller rpm 이 2200 이상 되지 않으며 따라서 fwd foil 이 take-off 안됨.

5) 이 사태를 분석하면 다음과 같다.

ㄱ. 3.5 ton 에서 5 ton 으로 선체중량이 증가하므로서 실제 take-off 시 필요한 부하가 급격히 증대하여 fwd. foil 의 take-off speed 인 21 kts 까지 선박을 추진시켜 주기에는 소요마력이 부족함.

ㄴ. 따라서 fwd foil 을 21 kts 이하의 속도에서 조기 take-off 을 시켜 선체의 부하를 줄이고 propeller rpm 을 상승시켜, 계속 항주하여 aft foil 을 21 kts 에서 take-off 시켜야 한다.

ㄷ. 따라서 fwd foil 은 약 18 kts 에서 조기 take-off 을 시켜 계속 속도가 증가함에 따라 속도의 증가율과 foil 수심의 변화로 인한 foil area 의 감소율을 평형시켜 결과적으로 과도한 lift force 가 생기지 않아야 한다. 이에 맞는 foil 을 설계 건조키로 함.

라. 3 차 시운전

1) fwd. foil 의 새로운 설계

fwd foil area 는 조기 take-off 을 위해 전과 동일하게 하였고 속도의 증가에 따라 foil area 의 감소율이 급격하여 각 속도에 따라 projected area 를 만족시키도록 하였음. 또한 stability 의 향상을 위하여 Fwd foil 의 각도를 35°로 바꾸고 양현 쪽으로 foil area 를 옮김.

2) aft foil 의 attack angle 은 1° 증가시킴.

3) 시운전결과 fwd foil 과 aft foil 이 거의 동시에 약 19 kts 에서 안정성있게 take-off 하여 32 kts 까지 전진할 수 있었음.

4) 그러나 32 kts 이상의 속도를 얻기 어려운바 아직도 항주시 좌우로 극단적인 경사가 있으며 면적 감소율과 상대될 마력증가가 이루어지지 않기 때문으로 사료됨.

결 언

이 hydrofoil 의 건조한 결과 앞으로 hydrofoil 의 건조시

1. 정확한 weight 를 추정하므로서 foil lift 계산에 착오가 없도록 해야함.

2. 정확한 L.C.G(longitudinal center of gravity)를 추정하여 fwd foil 과 aft foil 에 적정한 lift 배분을 하여야 함. 또 L.C.G 의 뜻하지 않은 이동을 없게하여 이에 따른 선체 trim 변화로 생기는 foil attack

angle에의 영향을 없애야 함.

3. 보통 hydr of oil의 cruising speed가 0—에서 40 kts 이상이므로 propeller 설계시 특히 유의하여야 한다.  
즉 high pitch propeller를 쓸 경우 저속 및 중속에서 정격 rpm을 내지 못하여 low pitch propeller를 쓸 경우 저속에서는 정격 rpm을 내나 고속에서 pitch가 모자라는 현상이 있기 때문이다.
4. foil 설계시 foil의 선체에 대한 상대적인 길이 및 각도를 조절하여 foil의 면적 감소율과 속도의 증가율을 완전히 맷칭시켜야 한다.  
이 외에도

적정한 take-off 속도

적정한 foil configuration

적정한 foil lifting height

적정한 foil attack angle

및 복원력의 결정에 관한 제문제와 foil의 제작에 관한 재질과 동작방법등 해결해야 할 문제는 많이 있으며 앞으로 더욱 연구 개발의 여지가 있는바 획기적인 성과는 거두지 못했으나 앞으로의 연구발전에 조그만 더듬돌이 될수 있다는 자위로서 이 보고를 끝마치겠습니다. 감사합니다.