

論 文

## 2축 함정의 스트럿 설계에 관한 고찰

박 명규\*, 신 영균\*\*

Study on the Design of Shaft Strut for Naval Ships with Twin Screw

*M.K. Park\**, *Y.K. Shin\*\**

〈目 次〉

Abstract	4. 고 찰
1. 서 론	5. 결 론
2. 일반적인 스트럿 설계	6. 참고문헌
3. 실적함의 스트럿 설계	

### Abstract

High speed naval ships are configured with open shafts. The shafts, bearings, and propellers are supported by shaft struts. Proper design of struts involves issues of structural, vibration, and hydrodynamic analysis and design. Strut arm cavitation in high speed occurs because of a misalignment of the strut arm with the local incident flow. Proper selection of the strut section can minimize the generation of cavitation. This paper describes issues in the design struts and notices based on the design of Patrol Craft and Amphibious Ship.

\* 한국해양대학교 해양시스템공학부  
\*\* (주)한국중공업 특수선 설계부

## 1. 서론

고속에서 운항하는 함정은 통상적으로 Open Shaft 형태의 함미 형상을 채택하고 있다. 이러한 경우에 선체 밖으로 돌출한 프로펠러와 프로펠러 축을 스트럿으로 지지하게 된다. 따라서, 스트럿은 구조·진동의 측면과 유체역학적 측면이 모두 중요하다.

스트럿에 대한 설계는 Saunders[1], Mandel[2], Losee[3] 등의 문헌에 따라 수행하며, 특히 미 해군은 Losee의 Design Data Sheet (DDS)에 근거하여 스트럿을 설계한다. 또한, 국내에서는 조무웅[4], 이진성과 고주혁[5] 등이 DDS를 기초로 스트럿의 설계 방법에 대하여 소개하였다.

본 논문에서는 일반적인 스트럿 설계 방법을 소개하고, 실적함에 대한 설계를 바탕으로 스트럿 설계 시의 유의점에 대해서 살펴보고자 한다.

## 2. 일반적인 스트럿 설계

### 2.1 스트럿의 형태

#### 2.1.1 Single 스트럿

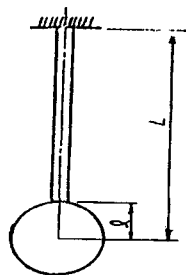


그림 1 Single 스트럿

형태는 그림 1과 같은 형상을 보이며, 유체역학적 측면에서 다른 형상에 비해 유리하다. 그러나,

Single 스트럿은 외팔보와 같은 축 진동이 발생하며 선회 또는 Cross Flow에 따른 Magnus Effect로 발생한 과도한 축 하중이 축 강성의 약화 등을 유발하므로 Shaft와 선체의 길이가 충분히 짧은 경우에 사용하여야 한다.

#### 2.1.2 Radial Vee 스트럿

스트럿의 일반적인 형태로서 Shaft 지지에 유리하지만, Vee 각의 선택에 유의하여야 하며 그림 2와 같은 형상을 나타낸다.

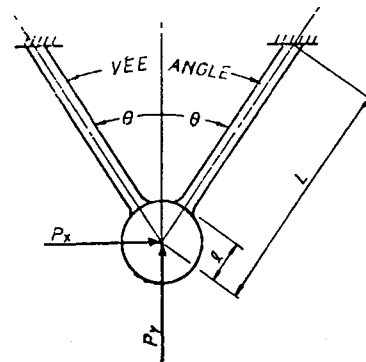


그림 2 Radial Vee 스트럿

#### 2.1.3 Tangential Vee 스트럿

그림 3과 같은 형태로, 암(Arm)을 많이 벌릴 필요가 있을 때 사용하며 횡방향 굽힘 모멘트가 발생하여 강도 면에서는 다소 불리한 결함이 있다.

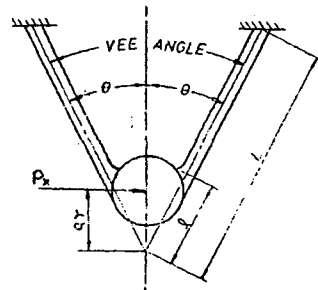


그림 3 Tangential Vee 스트럿

2.2 스트럿 단면 형상

Shaft Bearing의 지지 강도 및 압 주위에 생기는 캐비테이션 현상을 고려할 때, 압의 횡단면 형상의 결정은 중요한 사항이다. 한편, 사용되어지고 있는 횡단면 형상을 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 DTMB의 EPH 단면

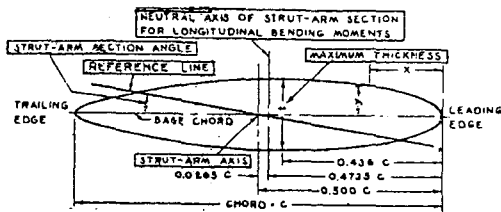


그림 4 DTMB EPH 단면

EPH 단면의 Chord별 두께(t) 계산식은 다음과 같으며, 형상은 그림 4에 나타내었다.

- 타원(Ellipse) :  $0 < X/C < 0.436$

$$\left(1 - \frac{X/C}{0.43613}\right)^2 + 4(Y/t)^2 = 1$$

- 포물선(Parabola) :  $0.436 < X/C < 0.872$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{X/C}{0.43613} - 1\right)^2 + 2(Y/t) = 1$$

- 쌍곡선(Hyperbola) :  $0.872 < X/C < 1$

$$\left(1 + \frac{1-X/C}{0.30839}\right)^2 - 16(Y/t)^2 = 1$$

여기서, X = 스트럿 압 단면에서 Leading Edge까지의 거리

C = Base Chord의 길이

Y = Base Chord에서 EPH 단면 외곽선까지의 수직거리

t = EPH 단면의 최대 두께

2.2.2 다른 단면들

- NACA 단면

단면의 두께(t)는 다음 수식으로 정의한다.

$$t = \frac{t_{max}}{0.20} (0.29690 \sqrt{x} - 0.12600 x - 0.35370 x^2 + 0.28430 x^3 - 0.10150 x^4)$$

- U.S. Navy Standard 단면 (c/t=6)
- Mandel의 단면 (c/t=4.25)

각 단면들의 형상을 그림 5에 비교하였다.

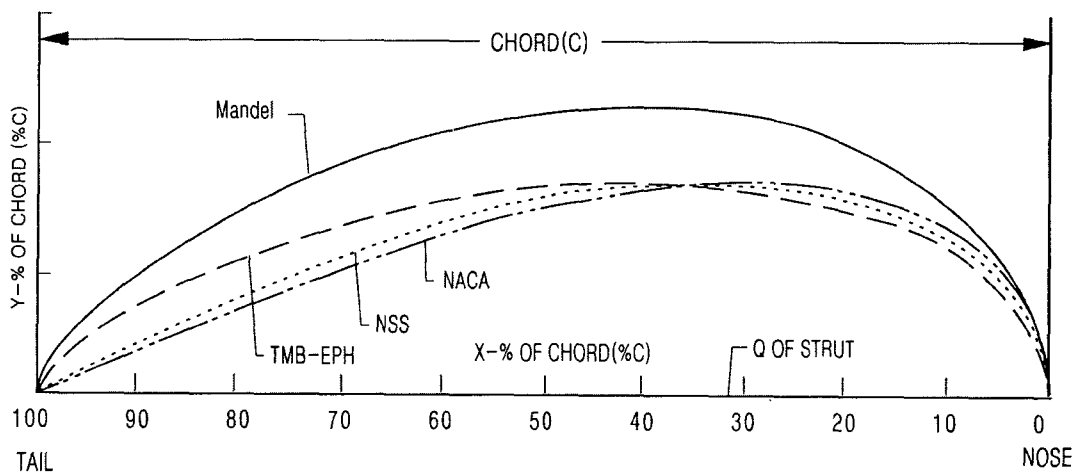


그림 5 대표적인 스트럿 단면의 형상

### 2.3. 스트럿 암의 각도

#### 2.3.1 Vee 각

다른 조건이 동일하다면 Vee 각이 90도 일 때 스트럿 암은 최대강도를 갖는다. 그러나 대부분의 경우 Vee 각이 어느 정도 작으면 스트럿 암의 길이가 짧아지게 되며, 이것은 강도나 강성의 관점에서 바람직하며 저항 측면에서도 유리한 결과를 갖는다. 단, Vee 각이 과도하게 작아지면 암 사이의 위벽효과가 발생하여 응력이 상승하므로 유의하여야 한다. 또한, Vee 각의 결정 시에는 프로펠러 날개 사이의 각도와 일치하거나 각도의 2배수, 3배수에 일치하는 Vee 각을 선택하는 경우에는 유입 유동의 간섭효과로 진동에 나쁜 영향을 끼친다. 한편, 통상적으로 권장되는 각도는 65도이다. [3]

#### 2.3.2 Rake 각

Rake 각(혹은 Sweep 각)은 유체 역학적으로는 유동의 박리를 늦춰주는 효과가 있어 스트럿 전단부에 발생하기 쉬운 캐비테이션을 감소시키는 역할을 하며 강도 상으로는 선체에 대한 길이를 가장 작게 하여 강도 측면에서 유리하게 한다. 적용하는 경우에는 통상 15도 내외의 값이 사용되고 있다.

#### 2.3.3 스트럿 암의 단면각과 Twist 각

스트럿 암의 단면각은 스트럿 암의 중방향 축이 축계와 이루는 각도를 말하며 스트럿 주위에서 발생하는 유동의 박리와 가장 밀접한 관계가 있다. 통상 Water Line과 Buttock Line 사이에 놓이는 유선을 따라 결정하며, 보다 일반적인 방법은 유선가시화 실험을 통한 유선의 방향에 일치하는 것이다. 그리고, 스트럿 암의 단면각과 관련한 Twist 각은 암을 따른 스트럿 단면각의 변화이다. Twist 각은 유입 유동의 유입각과 깊은 관련이 있으며, 프로펠러의 회전 방향에 따라 다르지만 약 5도 내외의 값을 가지는 것으로 문헌[6]에서 밝히고 있다. Twist 각은 스트럿 암의 단면각과 마찬가지로 유선가시화 실험을 통하여 결정한다.

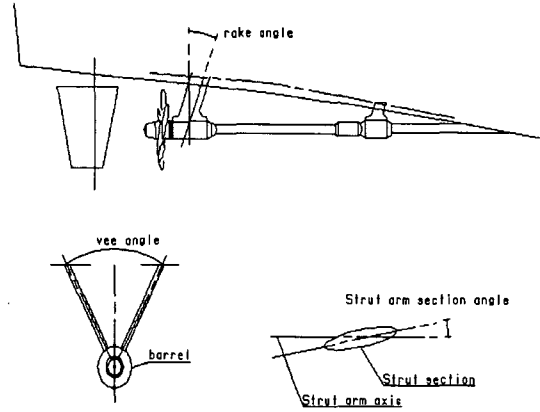


그림 6 스트럿각의 정의

## 3. 실적함의 스트럿 설계

### 3.1 고속 경비정의 스트럿 설계

#### 3.1.1 개요

고속 경비정은 Intermediate 스트럿은 I-type을, Main 스트럿은 V-type을 취하고 있다. 그리고, 프로펠러의 회전 방향은 Outward (함미에서 함수를 바라볼 때 프로펠러가 바깥쪽으로 회전하는)이고, 스트럿 암의 단면 형상은 비대칭 NACA 단면을 사용하였으며 스트럿 암의 단면각은 축계와 일치시켰다.

#### 3.1.2 1차 캐비테이션 시험

Intermediate 스트럿은 단순히 저항성능과 구조상의 강도 문제와 연관이 크므로, Main 스트럿에 대하여 캐비테이션 시험을 수행하였다.

시험 결과는 그림 7과 같이 우현쪽 스트럿의 Outside에 과도한 캐비테이션이 발생하고 좌현쪽 스트럿의 Outside에도 약 10% 캐비테이션 발생함을 보이고 있다. 특히, 좌·우현 스트럿 모두 Inside에 구름 및 방울 캐비테이션이 다량으로 발생하여 침식의 우려가 있었다.

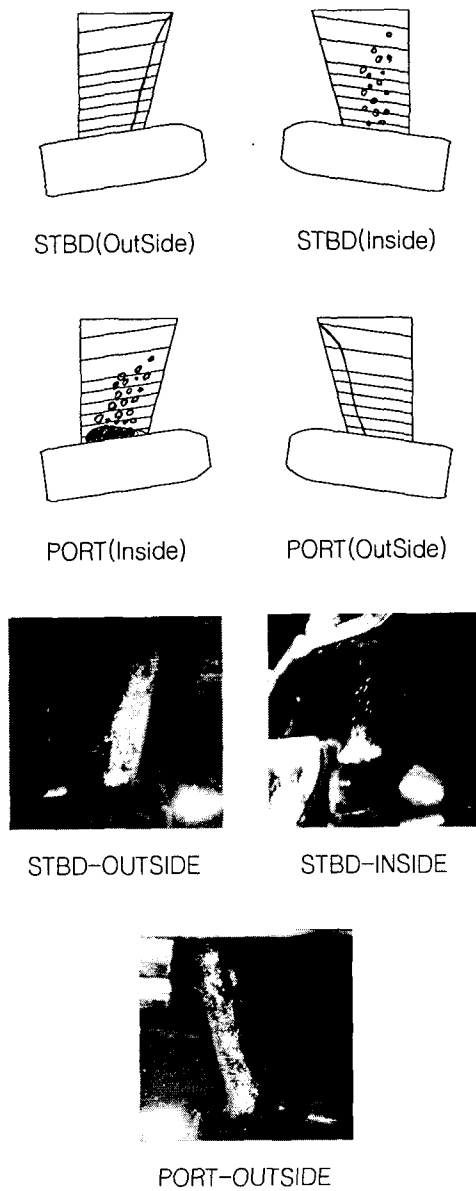


그림 7 1차 캐비테이션 시험결과

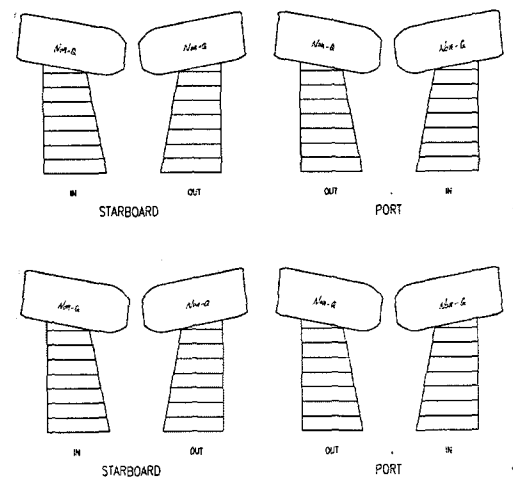
이러한 결과는 스트럿의 두께가 과도하고 최적 입사각이 설정되지 못한 결과로 판단하였다.

### 3.1.3 2차 캐비테이션 시험

1차 캐비테이션 시험의 문제점을 개선하기 위하여 스트럿 단면각이 다른 2개의 스트럿을 설계하

여 캐비테이션 시험을 수행하였다. 이때, 단면은 KH58 단면을 사용하였으며 단면의 두께는 최소한의 강도를 유지하는 두께를 새로이 계산하여 축소된 두께를 2, 3차 스트럿에 적용하였다. 스트럿의 입사각은 Outside가 0.5도, Inside가 3도와 1.5도를 선택하여 두 개의 스트럿을 설계하였다.

그림 8은 2차 캐비테이션 시험의 결과이다.



2차 설계 스트럿의 캐비테이션 스케치

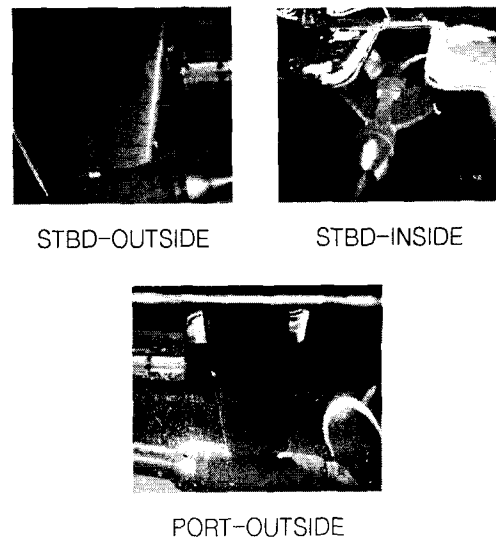


그림 8 2차 캐비테이션 시험 결과

2.3차 캐비테이션 시험 결과는 Outside 0.5도, Inside 3도의 입사각을 둔 2차 스트럿이 캐비테이션 성능이 가장 우수하여 최종 스트럿으로 선정하고 설계에 반영하였다.

### 3.2 대형수송함의 스트럿 설계

#### 3.2.1 개요

대형수송함의 스트럿 설계를 위하여 2개의 스트럿을 설계하여 저항시험, 반류분포조사시험, 유선조사 시험을 수행하여 최적의 스트럿 선정 및 스트럿 암의 단면각을 결정하였다. Intermediate 스트럿은 I-type을 사용하고, Main 스트럿은 V-type으로 선정하였다. V-type 스트럿 사이의 각은 Outside /Inside가 30°/35°인 경우와 26°/35°인 두 경우를 설계하였고 스트럿 암의 단면은 EPH 단면을 사용하였으며 단면각은 축계와 평행하게 하였다. 또한 프로펠러의 회전방향은 Outward이다.

#### 3.2.2 모형시험

저항시험은 Vee 각이 61°인 경우가 65°인 경우보다 유효마력대비 0.8% 우수하였고, 반류 분포 시험은 명확한 차이를 보이지 않았다. 그리고, 유선조사 시험은 문헌[6]에서의 제안에 따라 그림 9와 같이 장비를 설치하고 수행하였다. 시험 결과는 Inside 스트럿의 각도는 유입각과 일치하였으나 Outside의 각도는 유입각과 약 4도의 차이를 보였다.

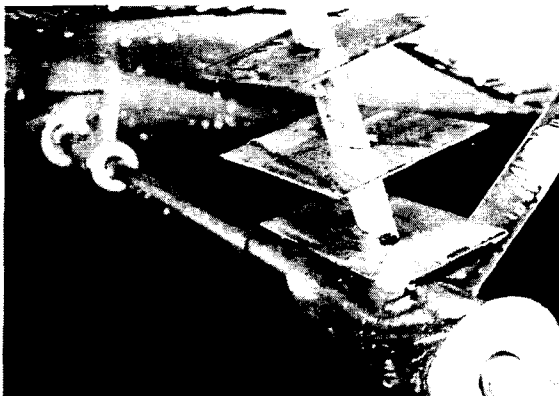


그림 9 스트럿 유선 조사 시험

위의 시험 결과를 바탕으로 좀 더 나은 저항 결과를 보이는 Vee 각 61°인 경우를 최종 스트럿으로 선정하고, 유선조사시험 결과로부터의 입사각을 반영하여 Inside 스트럿 암의 단면각은 0°(축계와 평행)로 정하고 Outside 스트럿 암의 단면각은 바깥쪽으로 4°(앞날은 바깥쪽, 뒷날은 안쪽)으로 각도를 주어 최종 스트럿을 설계하였다.

## 4. 고찰

두 척의 함정에 대한 모형시험 결과는 스트럿 암의 단면각이 반드시 축계와 평행하지 않다는 것을 보여주고 있다. 이것은 축계와 평행하게 스트럿 암의 단면각을 정하는 통상적인 설계 방법과는 다른 결과이다. 특히, 고속 경비정의 경우는 통상적인 설계 결과가 캐비테이션 시험에서 문제점이 있다고 판단되어 스트럿을 수정하였으며, 대형수송함의 경우에는 이와 같은 경험에 기초하여 미리 스트럿의 배치를 수행한 것이다.

위의 같은 현상의 원인은 첫째로, 프로펠러 유기속도의 영향으로 볼 수 있다. 프로펠러 유기속도의 영향은 Inside가 Outside보다 작으며, 이것은 프로펠러의 유기속도가 Skeg와 선체를 따른 경계층 및 선체 주위 유동장의 접선방향 속도 분포와 혼합된 결과로 판단된다. 둘째로, Hackett and Jonk(7)는 모형 시험을 통하여 축의 회전에 의한 영향을 제시하였다. 즉, 축의 회전이 스트럿에 유입하는 유동의 유입각에 영향을 끼친다는 것으로 그림 10에서와 같이 Barrel에 가까이 갈수록 유입각의 변화가 커지는 것을 통하여 확인할 수 있다.

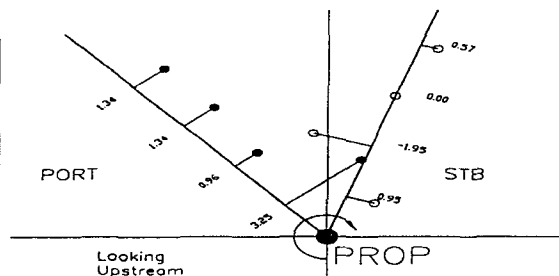


그림 10 스트럿에의 유입각

이러한 이유에서, 스트럿 암의 단면각은 Barrel로부터 암을 따라 선체로 갈수록 변화함을 알 수 있다. 이것이 Twist 각이다.

Propeller Shaft Strut Design, Trans. of SNAME

## 5. 결론

2축 함정의 스트럿 설계 및 모형시험을 통하여 설계시 특히 유의해야 할 사항을 요약하면 다음과 같다.

- 스트럿 단면각은 축계의 방향과 일치하지 않으며, 따라서 단면각을 유동의 흐름에 맞게 변화시켜야 하며 이렇게 할 경우 캐비테이션 성능을 현저히 개선할 수 있다.
- 스트럿 단면각은 Shaft의 회전, 프로펠러의 회전, 그리고 선체 및 Skeg를 따른 경계층과 선체 주위 유동장의 영향이 복합된 결과이다.

## 6. 참고 문헌

- [1] H. E. Saunders (1957), Hydrodynamics in Ship Design, Trans. of SNAME
- [2] P. Mandel (1955), Some Hydrodynamic Aspects of Advantage Design., Trans. of SNAME
- [3] L. K. Losee (1957), Shaft Struts, Design data Sheet (DDS 4301-2)
- [4] 조무웅 (1980), Shaft Strut의 설계에 대하여, KTMI 기술자료
- [5] 이진성, 고주혁 (1987), Shaft Strut의 설계, 기술 현대
- [6] A. Jonk and J. P. Hackett (1998), Some Aspects in Designing Shaft Brackets for High-Speed Vessels, PRADS,
- [7] J. P. Hackett and A. Jonk (1999),