

55피트급 세일링 요트의 프로펠러 유기 소음·진동 현상

Noise-Vibration Phenomenon inducing Propeller on the 55ft Class Sailing Yacht

이돈출† · 김호빈* · 엄기탁**

Donchool Lee, Hobin Kim and Gitak Eam

Key Words : Propeller Singing(프로펠러 명음), Sailing Yacht(세일링 요트), Structural Vibration(구조적 진동), Kármán Vortex Shedding(칼만 와열)

ABSTRACT

The demand for sailing yacht is increasing in consonance the improvement of people's live. These yachts can be dually propelled by wind and by diesel engine power. A singing (humming, whistling) phenomenon induced on the propeller was discovered on a 55-foot catamaran sailing yacht. As a result, an increase in the structural vibration of the stern tube room and propulsion system with abnormal noise was detected due to this flow. In this study, the cause of the phenomenon is investigated and its possible countermeasures proposed.

N_2 : 프로펠러 최대회전수 (r.p.m.)

기 호 설 명

- f : 칼만 와열의 주파수 (Hz)
- f_1 : 날개의 최저 고유진동수 (Hz), 대략 50~100 Hz
- f_2 : 이 이상 높은 사이클의 소리는 문제시 되지 않는 한계 진동수(Hz), 대략 800 Hz 정도
- r : 프로펠러 중심부터의 반경(m)
- N : 프로펠러의 회전수(r.p.m.)
- D : 프로펠러 지름(m)
- h_1 : $0.55r \sim 0.60r$ 에 있어서의 후연 끝의 두께(m)
- h_2 : $0.55r \sim 0.60r$ 에 있어서의 후연 끝부터 그 곳의 최대 날개두께 t (m) 만큼 내측의 날개 두께
- N_1 : 프로펠러의 최저속회전수 (r.p.m), 즉 이하의 회전수에서는 명음의 유무가 문제시 되지 않는 회전수

1. 서 론

레저용 세일링 요트는 바람과 동력에 의해서 추진할 수 있는 시스템을 갖추고 있다. 따라서 레저 활동을 위하여 돛을 주로 사용하지만, 일기가 고르지 못하거나 상업용으로 운항을 할 경우 동력을 이용한다. 본 논문은 55피트급 쌍동형 세일링 요트의 특정한 회전영역에서 프로펠러의 유체력에 의해서 발생하는 와열(vortex shedding)에 기인한 프로펠러 명음 현상이 발생하여 소음과 함께 선미와 추진축계에 미치는 구조진동의 영향을 평가하고자 한다.

2. 요트구조와 프로펠러 유기 소음·진동

2.1 요트구조 및 기관 배치

연구 대상의 요트는 Fig. 1~2에 보인바와 같이 비교적 고급스럽게 제작되었다. 그리고 내부에는 침실, 주방 및 휴식공간들이 있고, 밖에서는 휴식을 즐길 수 있도록 외부 공간도 넓게 설계하였다. 기관 실은 Fig. 3에 보는바와 같이 매우 협소하고 축의

† Corresponding Author ; Member, Marine Engineering Division, Mokpo National Maritime University
E-mail : ldevib@mmu.ac.kr
Tel : 061-240-7219, Fax : 061-240-7201

* R & D Department, GHI Yachts Co. Ltd.

** Machinery Design Department, Hyundai Samho Heavy Industries Co. Ltd.

배치는 설치 공간을 줄이기 위하여 약간의 레이크 (rake)을 주었다. 주기관은 출력 대비 중량을 줄이기 위하여 250마력급 고속 디젤엔진 2기를 각각 좌, 우현에 탑재하였다. 또한 선체구조 소음을 줄이기 위하여 이 엔진은 탄성지지에 의해서 지지되어 있다.



Fig. 1 Overview for 55ft sailing yacht

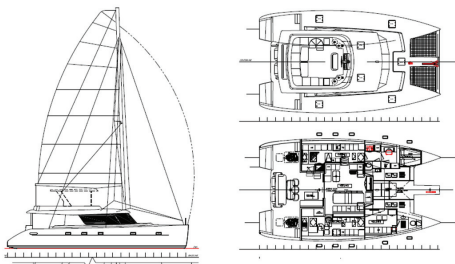


Fig. 2 General arrangement for 55ft sailing yacht

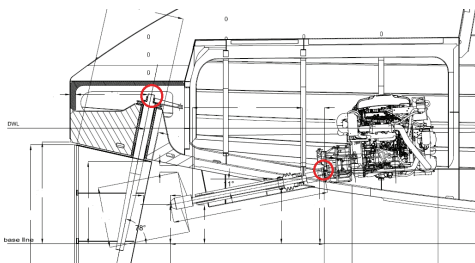


Fig. 3 Engine arrangement for 55ft sailing yacht

2.2 프로펠러 유기 소음 · 진동⁽¹⁾

Fig.4와 같이 프로펠러 날개의 압력면과 배면으로부터 유체가 빠져 나갈 때 날개의 끝부분에서 와열이 존재하는 경우 규칙적으로 와(vortex)가 열을 이루면서 뒤쪽으로 떠나간다. 이러한 칼만(Kármán) 와열의 발생주파수는 식(1)과 같다.

$$f = \frac{2\pi r N}{300\phi_2} \quad (1)$$

일반 상선에서 명음으로 고려해야 할 진동수는 300~800 Hz (또는 1 kHz) 정도이고, 소위 박육법(薄肉法)의 대책에 의하는 일이 많으므로 하한의 진동수는 거의 고려할 필요가 없다. 명음의 판별법으로는 음색에 의해서 판별하고 있다. 명음의 방지 대책으로 칼만 와열의 주파수가 날개 후연의 두께 및 속도에 의해 변하므로 후연의 두께를 가감함으로써 공진을 회피할 수 있다. 실제로는 후연두께를 다음 식(2)와 같이 결정한다.

$$h_1 < 0.002\pi \frac{N_1 D}{f_2} \quad (2)$$

$$h_2 > 0.002\pi \frac{N_2 D}{f_1}$$

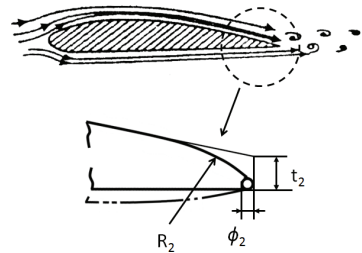


Fig. 4 Vortex shedding in propeller

3. 프로펠러 유기 소음 · 구조진동 계측 및 분석

실험은 선박을 암벽에 고정된 후 프로펠러 회전수를 단계적으로 올려가면서 그리고 천천히 (run-up-down)하면서 측정하였다. 신호를 분석한 결과 단계적으로 올려가면서 측정한 결과가 소음진동의 분별이 명확하여 이 방법을 택하였다.⁽²⁾

3.1 프로펠러의 명음 해석과 측정 결과

프로펠러 유기소음진동 측정을 위하여 장비의 배치는 Fig. 5와 같이하였고 분석은 자체 개발한 S/W를 이용하였다.⁽³⁾ Fig. 6은 엔진 룸에서 계측한 소음으로 그림에서 보는바와 같이 프로펠러 회전수 320~380r.p.m.에서 450Hz의 소음이 광범위하게 분포되어 있음을 확인할 수 있다.

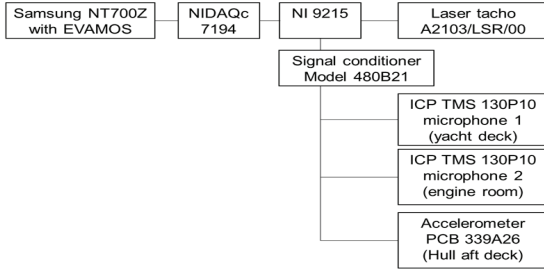


Fig. 5 Equipment arrangement for noise and hull vibration measurement

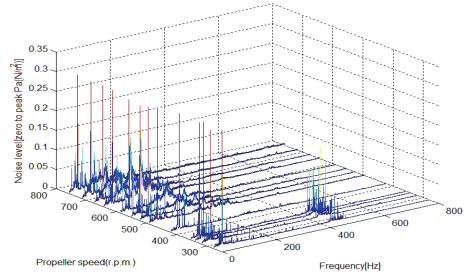


Fig. 9 Noise level (waterfall) of hull deck

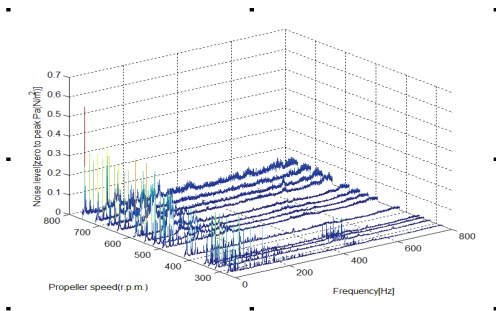


Fig. 6 Noise level (waterfall) of engine room

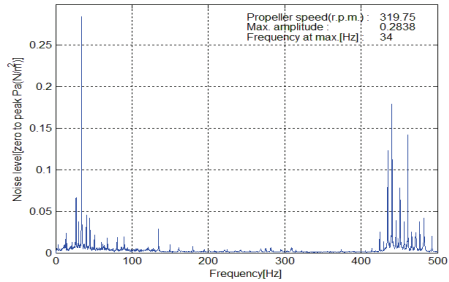


Fig. 10 Noise level of hull deck at propeller speed 320 r.p.m.

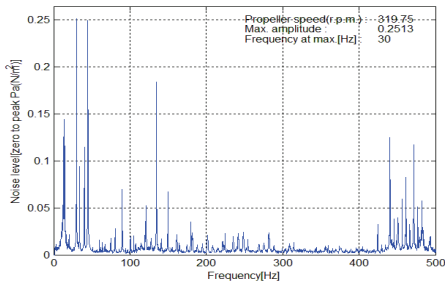


Fig. 7 Noise level of engine room at propeller speed 320 r.p.m.



Fig. 8 Microphone position on hull deck

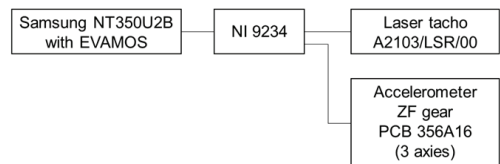


Fig. 11 Equipment arrangement for gear vibration measurement

3.2 구조진동 계측 결과

구조진동의 계측은 Fig. 3의 적색 원 표시의 위치에서 구조진동을 계측하였다. 장비의 배치는 현장 여건에 맞추어 Fig. 5와 Fig. 11에 보인 바와 같이 분리하여 계측을 수행하였다. 비교적 구조가 튼튼한 조타기의 상부에서 상하진동의 계측결과를 Fig. 14는 보인다. 특히 연구기간이 짧고 트러블 슈팅기간이라 선체진동의 해석은 수행하지 못했지만 명음의 주파수가 높아 공진이 일어나지 가능성은 없고 단순한 유체변동력에 대한 응답으로 추정된다.

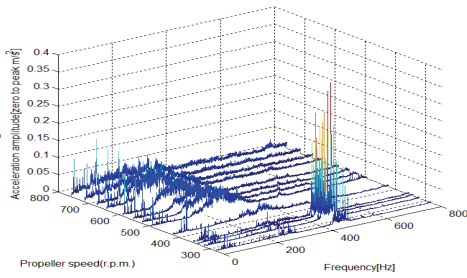


Fig. 12 Vibration level (waterfall) of rudder stock vertical direction

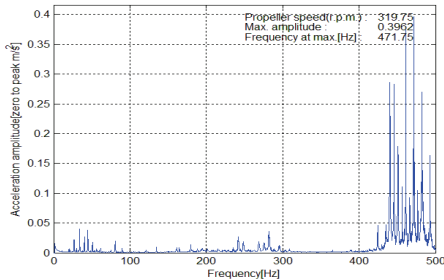


Fig. 13 Vibration level of rudder stock vertical direction at propeller speed 320 r.p.m.

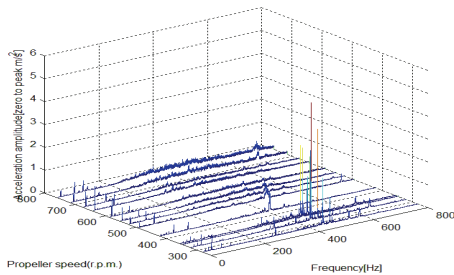


Fig. 14 Vibration level (waterfall) of reduction gear axial direction

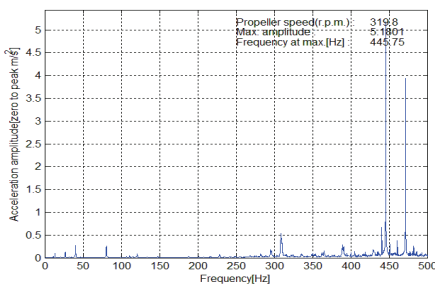


Fig. 15 Vibration level of reduction gear axial direction at propeller speed 320 r.p.m

4. 결 론

본 연구에서는 55피트 세일링 요트에서 프로펠러 유체력에 의해서 발생하는 소음 및 진동을 검토하였으면 이를 정리 요약하면 다음과 같다.

(1) 프로펠러에서 발생하는 명음은 레저용 요트에 치명적이며 이를 줄이기 위하여 대책이 필요하며 이를 위하여 프로펠러 날개의 Travel edge를 가공하여 고유진동수를 낮추는 것이 바람직하다. 이 작업은 적합한 일정을 잡아 개선하고 소음 및 진동 측정은 재 실시할 예정이다.

(2) 소형 세일링 요트는 일반강선과 달리 와열 현상이 발생하면, 구조적으로 강성이 낮은 선체구조와 프로펠러와 선체가 근접하여 선체 후미에서 심한 구조진동이 발생함을 확인하였다. 또한 탄성지지를 적용한 추진시스템에서 감속기어와 추진용 디젤엔진에서도 구조진동이 발생하여 시스템적으로 불안정함을 보인다.

(3) 대형 선박에서 발생하는 명음은 프로펠러의 FEA 해석과 함께 시운전시 주로 소음에 의존하거나 햄머링 테스트로 확인하고 있다. 그러나 소형 요트는 비교적 프로펠러와 선체구조간의 이격 거리가 가까워 소리보다는 선미 구조진동으로 확인하는 것이 보다 명확하고 효과적이었다.

참 고 문 헌

(1) Jeon H. J., Shaft equipment and propeller, 2009, Deajin Press, pp. 248-251.

(2) ISO, 2012, Mechanical vibration - Measurement of vibration on ships - Part4 Measurement and evaluation of vibration of the ship propulsion, ISO20284-4.

(3) Lee D. C., Joo K. S., Nam T. K., Kim E. S. and Kim S. H., 2009, Development of Engine Vibration Analysis and Monitoring System(EVAMOS) for Marine Vessels, Transactions of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, Vol 19, No. 2, pp. 155-162.