

선박 프로펠러 명음 신호 특성 고찰

Study on the characteristic of the propeller singing signal

이철원† · 최성욱* · 이도경* · 정태석* · 허주호*

Chul-Won Lee, Sung-Wook Choi, Do-Kyung Lee, Tae-Seok Jeong and Joo-Ho Heo

1. 서 론

선박 프로펠러 명음 현상(Singing)은 일반적으로 프로펠러 끝 단부(Tip)의 유동 박리(Vortex Shedding) 주파수와 프로펠러 고유 진동수가 일치하여 공진을 일으키며 이로 인하여 발생한 수중음이 선체 전달 시 감쇄 음장(Evanescent Field)을 형성하지 않는 경우에 발생 한다.

그러나 선박의 건조 단계에서 이의 사전 예측은 박리 주파수 해석의 부정확성과 수중음 전달 효율 계산의 어려움으로 매우 어렵다.

또한 문제 발생 시, 선박의 엔진 룸 및 선미 부구역은 Main Engine 을 비롯한 많은 장비 소음으로 인하여 프로펠러 명음의 규명이 매우 어렵다. 반면 문제 발생 시 이의 해결을 위한 Anti-Singing Treatment 는 많은 시간과 비용을 요구 하므로, 문제 예상 시 이의 정확한 규명은 매우 중요하다.

본 논문은 실제 프로펠러 명음 발생 사례를 통하여 이의 특성을 고찰하여 프로펠러 명음 현상의 효율적 규명 방법을 제시한다.

2.2 프로펠러 명음 현상의 규명

2.1 유동에 따른 명음 신호 특성

유체가 프로펠러 날개 주변을 흐를 때 날개 끝단(trailing edge)에서 발생하는 와류의 박리 주파수는 식(1)과 같이 무차원수인 St(Strouhal Number)로 계산할 수 있다.

$$S_n = \frac{f \times d}{v} \tag{1}$$

S_n : Strouhal number

f : vortex shedding frequency

d : effective diameter of rounded trailing edge

v : flow velocity

일반적으로 유동 박리 주파수는 식 (1)에서 Effective Length의 민감성 및 프로펠러 주위의 반류(wake)등에 기인한 유속의 복잡성 등으로 인하여 해석을 통한 문제 예측 및 검증은 매우 어렵다.

그러나 직접적인 명음 주파수 계산은 어렵지만, 다음과 같이 명음 신호를 간략히 표현 함으로서 신호 특성을 분석 할 수 있다.

$$f(t) = T(t)Ca(t) \tag{2}$$

$T(t)$: Modulation Function

$Ca(t)$: Carrier Function

명음 신호는 식 (1)에서와 같이 프로펠러 끝단부의 유속에 따라 박리 주파수가 변하며 이로 인하여 프로펠러 주위 반류 영향으로 특정 영역을 프로펠러 날개가 통과할 때만 명음 현상이 일어난다. 따라서 Modulation 함수는 다음과 같이 프로펠러 회전수를 기본 주파수로 하는 Fourier Series로 표현 할 수 있다.

$$T(t) = \sum_k \left| \sin(\omega_{mk}t) \right| \tag{3}$$

$$\omega_{mk} = \frac{2\pi}{T} k$$

T : 프로펠러 회전 주기

† 교신저자; STX 조선해양

E-mail : mrick@onestx.com

Tel : 055-548-5602 , Fax : 055-548-5602

* STX 조선해양

명음 신호의 Carrier Function 역시 Modulation Function과 마찬가지로 박리 주파수를 기본으로 하여 다음과 같이 Fourier Series로 표현 할 수 있다.

$$Ca(t) = \sum_k \sin(\omega_{vk}t) \quad (4)$$

$$\omega_{vk} = 2\pi f_0 k$$

f_0 : Vortex Shedding Frequency

위의 식 (2) ~ (4)로부터 프로펠러 명음 신호의 특성은 아래와 같이 정리 할 수 있다.

- Carrier Frequency를 중심으로 동일 크기 성분이 프로펠러 회전수의 정수배 주파수로 존재
- Carrier Frequency의 정수배로 각 차수가 규칙적으로 존재.

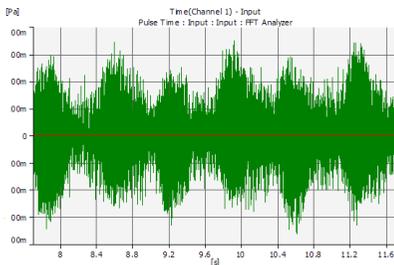


Fig. 1 Time series of singing signal

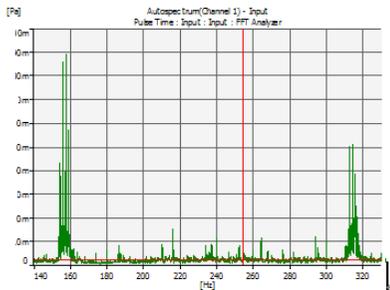


Fig. 2 Spectrum of singing signal

Fig.1은 실제 명음 신호의 시간 영역에서 Modulation 특성을 보여 주며, Fig.2로부터 158, 312Hz의 정수 배로 나타나는 신호 특성과 각 중심 주파수에서 프로펠러 회전수에 대응하는 주파수의 정수배로 분리된 신호 특성을 확인 할 수 있다.

2.2 프로펠러 고유진동 해석을 통한 신호 분석

프로펠러 날개의 고유진동 해석은 최근 FEM해석 기법의 발전에 따라 명음 현상 규명에 있어서 비교적 정확한 결과를 보여 주며 Table 1과 같이 계측된 신호와 유사한 주파수에 굽힘 모드 공진 주파수의 존재 여부 확인을 통하여 명음 현상을 검증 할 수 있다.

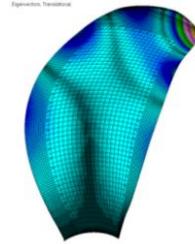


Fig. 3 Vibration analysis result of propeller blade

Table 1. Vibration analysis results of propeller blade

Mode	Frequency	Mode	Frequency
1	17.2	5	106.4
2	43.4	6	132.3
3	61.8	7	154.8
4	88.2	8	186.9

Carrier Frequency배수 차수의 경우 프로펠러 공진 모드가 없는 경우 나타나지 않는 특성을 갖는다. 따라서 비교적 신뢰 할 수 있는 해석 결과를 주는 공진 주파수해석 결과와 계측 신호 분석의 비교를 통하여 명음 현상의 규명을 수행 할 수 있다.

3. 결 론

본 연구를 통하여 프로펠러 명음 신호의 특징은 다음과 같다.

- 계측 신호의 시간 영역에서 Modulation
- 계측 신호의 주파수 영역에서 Peak가 중심 주파수를 기준으로 프로펠러 회전수에 대응하는 주파수 정수배로 발생
- Peak의 중심 주파수가 정수배로 규칙적으로 발생

위의 계측 신호를 프로펠러 고유진동 해석과 비교를 통하여 명음 현상을 규명할 수 있다.