

선박 프로펠러 명음 현상에 대한 고찰

Study on the propeller singing noise in commercial vessels

황원우† · 이철원* · 이도경* · 정태석* · 허주호*

Won-Woo Hwang, Chul-Won Lee, Do-Kyung Lee, Tae-Seok Jeong and Joo-Ho Heo

1. 서 론

선박의 프로펠러에서 발생하는 명음 현상은 날개 끝단부에서 엇갈리는 와류가 날개의 굽힘진동 모드와 공진하여 발생하는 소음이다. 실선 시험단계에서는 선박내 각종 소음원이 혼재하기 때문에 비정상적인 소음의 원인을 정확하게 파악하기가 어려울 뿐만 아니라 이상 소음원을 파악하고 대책을 수립 및 이를 적용함에 있어 많은 비용과 시간이 소요된다. 따라서 본 논문에서는 명음 현상이 발생한 실선의 프로펠러 날개에 대해 고유진동해석을 수행하였고, 이를 동일선에서 계측된 이상소음을 주파수 분석한 결과와 비교하였다.

2. 날개의 와류이탈주파수와 모델링

2.1 와류 이탈 주파수

유체가 프로펠러 날개 주변을 흐를 때 날개 끝단(trailing edge)에서 불균일하게 엇갈리는 와류가 발생하며, 역압력구배를 만나 박리 되면서 주기적으로 발생하게 된다.

와류 이탈 주파수(vortex shedding frequency)는 식(1)과 같이 무차원수인 St(Strouhal Number)로 계산할 수 있다.

$$S_n = \frac{f \times d}{v} \quad (1)$$

S_n : Strouhal number

f : vortex shedding frequency

d : effective diameter of rounded trailing edge

† 교신저자; STX 조선해양

E-mail : mrick@onestx.com

Tel : 055-548-3840 , Fax : 055-548-3198

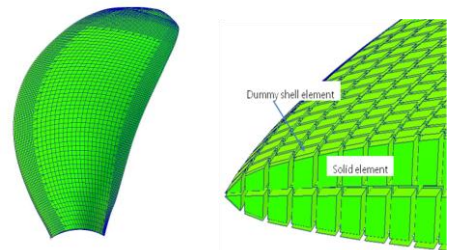
* STX 조선해양

v : flow velocity

여기서, 유속은 일반적으로 선속과 프로펠러의 전진비를 통해 계산 할 수는 있으나 실제 와류가 박리되는 유효 직경의 경우 모형시험 등을 통해서도 알 수 없기 때문에 정확한 와류이탈 주파수를 추정할 수 없다.

2.2 고유진동모드 해석을 위한 유한요소모델링

프로펠러 날개 모델링시 날개 두께를 고려하여 입체요소로 모델링하며 유체와 접수됨에 따른 유체의 부가수 질량을 고려해야 한다. 하지만 유체와 접수되는 입체요소모델의 각 절점에 대해 부가수 질량을 추정하기는 현실적으로 어렵다. 따라서 본 논문에서는 프로펠러 날개를 기하학적 모델(직경 : 6미터)을 이용하여 입체요소로 유한요소모델을 구성하였고, 유체와 접수되는 면에 대해서는 날개의 고유진동수에 영향을 주지 않도록 박막의 가상 평판 요소를 생성한 후 MSC.Nastran의 부가수질량법을 사용하여 유체의 부가수 질량을 고려하였다.



(a) FE model (b) Partial FE model

Fig. 1 FE model for the mode analysis

명음의 경우 날개 끝단부에서의 국부적인 공진현상이기 때문에 가장자리로 갈수록 작은 유한요소를 이용하여 상세 분할하였다. 또한 축과 연결되는 부분의 경계조건은 고정으로 하였다. 프로펠러 날개의 접수 깊이에 따른 고유진동수 변화를 확인하기 위해 날개의 위치별로 0도, 90도, 180도, 270도에 대해서 해석하였다. 해석 모델에 대한 자세한 사항은

Table 1에 나타내었다.

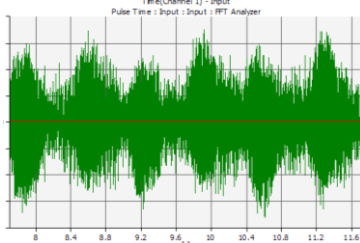
Table 1 Element types & material properties

Element & Material property		
Solid element	Hex, Wedge	10,134 EA
Shell element	Quad, Tri	4,624 EA
Solid Material (Ni-Al-Bronze)	Elastic modulus	120 kN/mm ²
	Poisson ratio	0.33
	Density	7,600 kg/m ³
Shell Material (Dummy)	Thickness	0.1 mm
	Elastic modulus	10 N/mm ²
	Poisson ratio	0.33
	Density	0.0078 kg/m ³

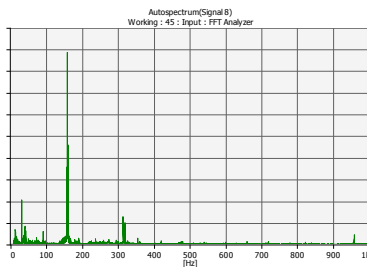
3. 실선 사례에의 적용

3.1 실선의 프로펠러 이상소음 현상

당사 실선 시운전시 45rpm 부근에서 이상소음이 발생하였고, 스티튜브가 있는 곳에서 소음을 측정하여 주파수 분석한 결과 156.0Hz에서 최대치를 가지는 소음이 발생하였다.



(a) Noise signal(at 45rpm)



(b) Autospectrum (at 45rpm)

Fig.2 Noise measurement data

3.2 프로펠러 날개의 고유진동해석 결과

프로펠러 날개 하나에 대해 위치별로 해석을 수행하였고 그 차이는 무시할 정도였다. 일차 고유진동수는 17.2Hz였으며 실선 계측 결과와 비교했을 때 날개 끝단부의 국부적인 7차 모드인 154.8Hz와 일치하였다. 해석 결과는 Table 2와 Fig.3에 나타내

었다.

Table 2 Natural frequencies of the 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

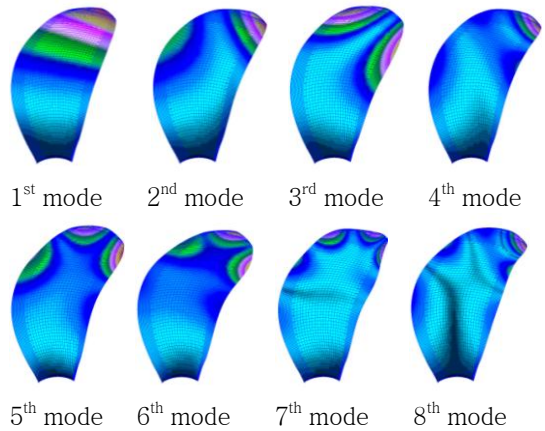


Fig.3 Mode shapes of the propeller blade

4. 결론

프로펠러 날개의 부가수 질량을 부여하기 위해 입체요소의 표면 즉 유체와 접하는 부분에 가상 평판 요소를 생성하여 고유진동 해석을 수행하였다. 해석 모델을 검증하기 위해 해석결과와 실선에서 발생한 이상 소음 주파수와 비교 하였으며, 유사한 결과를 얻었다. 또한 날개가 모두 접수된 상태에서, 접수 깊이에 따른 날개의 고유진동수 변화를 확인하기 위해 날개 위치에 따른 고유진동 해석을 수행하였고 비교해 본 결과 접수 깊이에 따른 고유진동수 변화는 거의 없었다.