

음향 유한요소법을 이용한 프로펠러의 비공동 수중 방사소음 연구

Study of Non-cavitation Propeller Noise using an Acoustic FEM

장지성† · 김형택* · 주원호*

Ji Sung Jang, Hyung-Taek Kim and Won-Ho Joo

1. 서 론

선박 프로펠러의 수중방사소음은 해양 생태계에 영향을 미칠 뿐만 아니라 군함의 경우 생존성과 전투력과 직결되어 있다. 최근 국제해사기구(IMO)에서는 상선 방사 소음 규제를 제정 중이며, 이로 인해 프로펠러 소음의 중요성이 증가하고 있다. 선박 프로펠러 소음은 공동 소음과 비공동 소음으로 구분할 수 있다. 상선의 경우 일반적으로 공동 조건에서 운항하기 때문에 공동 소음이 지배적이다. 공동 소음은 비공동 소음에 비해 날개 통과 주파수(BPF, Blade Passing Frequency) 뿐만 아니라 고주파수 영역의 광대역 소음도 크게 발생한다. 공동 소음 예측을 위해서는 소음원인 프로펠러의 공동 현상을 정확하게 예측 해야 하지만 전산유체역학(CFD)을 이용하여 공동 현상을 정확하게 예측하기 어렵기 때문에 수치 해석적인 연구가 많이 진행되지 않았다. 비공동 소음의 경우 공동 현상이 발생하지 않는 조건에서 주로 운항하는 군함이나 잠수함 에서 지배적인 영향을 미친다. 비공동 소음은 주로 날개 통과 주파수에서 큰 소음이 발생하며 날개 경계층 효과로 인해 발생하는 광역소음은 상대적으로 크기가 작다.

본 논문에서는 수치해석기법을 이용하여 모형 프로펠러(Figure 1)의 비공동 소음을 예측하고자 하였다. 프로펠러 소음의 주요 소음원인 블레이드 하중은 CFD를 사용하여 계산하였고 이로부터 얻은 블레이드의 비정상 하중은 회전하는 쌍극자 음원(Dipole Source)으로 모사하고 음향 유한요소법(Acoustic FEM)에 적용하여 프로펠러에서 방사되는 수중 방사 소음을 해석하였다.

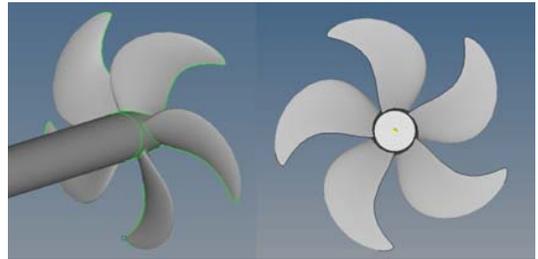


Figure 1 Propeller geometry

2. 프로펠러 유동 및 소음 해석

2.1 프로펠러 단독 시험 해석

프로펠러 소음 해석에 앞서 유동 해석 결과를 검증하기 위하여 프로펠러 단독 시험과 비교하였다. 유동 해석은 상용 CFD 프로그램인 SC/Tetra를 이용하였으며, RANS와 SST $k-\omega$ 난류 모델을 사용하였다. Figure 2는 해석 결과와 시험 결과를 비교한 것으로 전진 속도에 대한 추력과 토크의 변화를 보여준다. 추력과 토크 모두 시험과 유사한 결과를 보이고 있으며, 이를 통하여 소음 해석을 위한 유동 해석 결과의 신뢰성을 확인하였다.

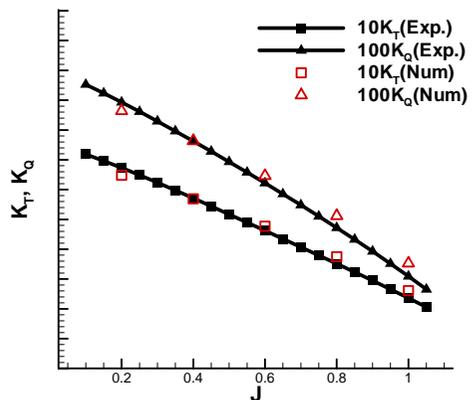


Figure 2 Propeller open water predictions

† 현대중공업 동역학연구소

E-mail : jisungjang@hhi.co.kr

Tel : (052)203-0764, Fax : (052)202-5495

* 현대중공업 동역학연구소

2.2 프로펠러 소음 해석

공동수조에서의 프로펠러 시험을 통해 계측한 소음값을 해석 결과와 비교하여 본 논문에서 정립하고자 하는 예측 기법의 정확도를 검증하기 위해 공동수조의 시험부(Figure 3)를 모사하였으며, 시험에 사용된 반류 조건을 고려하였다. 유동 해석 조건은 전진비가 약 0.97이며 추력 조건을 만족시켰다. 그리고 소음 해석에 사용한 비정상 표면 압력은 1도 간격으로 추출 하였다. 소음 해석은 상용 해석 프로그램인 Virtual.Lab.을 사용하였으며, 음향 유한요소법을 이용하여 프로펠러 방사 소음을 해석하였다. 공동 수조 시험부 벽면에 의한 소음의 반사 영향을 관찰 하기 위하여 시험부를 고려한 것과 고려하지 않은 유한요소법 해석 격자를 각각 생성하여 해석을 수행하였다. 프로펠러 소음원에 대한 모델은 CFD 해석으로부터 얻은 비정상 표면 압력을 Virtual.Lab.의 팬 소음원 모델에 적용하였으며, 이를 통하여 회전하는 쌍극자 음원에 대한 영향을 고려하였다.

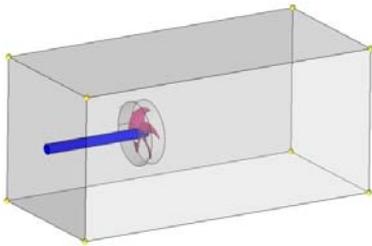
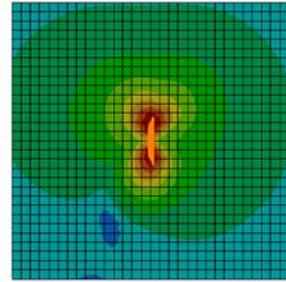


Figure 3 CFD domain

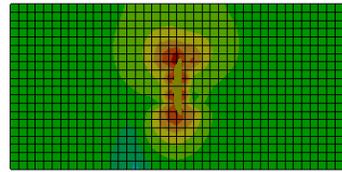
프로펠러 소음의 방향성은 자유 음장 조건(Figure 4(a))일 때와 공동수조 벽면이 존재하는 조건(Figure 4(b))에 대해 관찰하였다. 자유 음장 조건인 경우 프로펠러의 회전면 방향으로 소음이 크게 전파되며 특히 소음이 상부 쪽으로 크게 전파한다. 이는 블레이드가 상부를 지나갈 때 반류 조건으로 인해 추력이 증가하기 때문으로 판단된다. 공동수조 내부의 소음 전파는 자유 음장 조건일 때와 유사한 방향성을 보이며 벽면 반사로 인해 프로펠러의 중심 부분에서 소음이 증가 하였다.

Figure 5는 시험부 벽면에서 측정한 소음 결과를 해석과 비교한 것이다. 공동수조 벽면이 존재하는 소음 해석 모델의 경우 1차 날개 통과 주파수의 소음이 시험과 비교하여 2dB 이내로 정확하게 예측하고 있다. 그리고 고차 날개 통과 주파수의 소음은 비공동 소음이기 때문에 크게 줄어드는 경향이 보인다. 공동수조 벽면이 없는 자유 음장 조건인 경우

벽면 반사에 의한 영향이 없어지고 약 4dB 정도 소음이 감소하였다.



(a) w/o tunnel



(b) w/ tunnel

Figure 4 Propeller noise directivity(1st BPF)

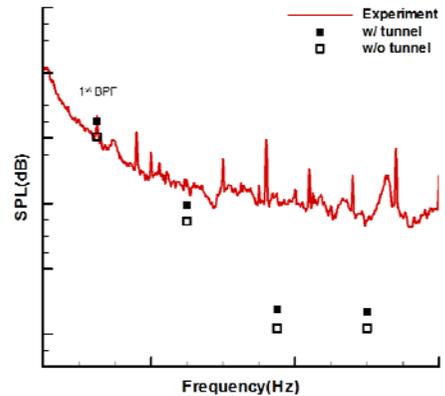


Figure 5 Prediction of propeller noise

3. 결 론

본 논문에서는 수치해석을 이용하여 프로펠러 비공동 소음을 예측하였으며, 공동수조 조건을 모사하기 위해 벽면에 의한 영향을 음향 유한요소법을 이용하여 확인하였다. 그리고 해석 결과와 시험 결과를 비교하여 첫 번째 날개 주파수에서 2dB 이내의 정확도를 갖는 것을 확인하였다. 이를 통하여 향후 선체의 영향을 고려 한 프로펠러의 비공동 수중방사 소음을 예측 할 수 있을 것으로 판단된다.