한국소음진동공학회 2011년 춘계학술대회논문집, pp.291~292

소나돔 이격거리에 따른 음향센서 유체 유동소음 저감 성능 예측

Prediction of flow noise reduction for acoustic sensor according to standoff distance from sonar dome

조치영†·김경섭*·서희선*

Cheeyoung Joh, Kyungseop Kim and Heeseon Seo

1. 서 론

일반적으로 잠수함은 다양한 표적으로부터의 방사소음 및 신호를 탐지(detection)하고 표적의 위치추정(localization), 식별(classification), 추적(tracking) 등의 임무를 수행하기 위해 많은 종류의 소나(sonar)를 탑재하고 있다. 은밀성이 중요한 잠수함의 특성상 수동소나(passive sonar)가 주된 역할을 하는데, 소나 센서는 일반적으로 선형 및 평면형 배열 형태로 선체 측면 외부에 설치된다. 배열 전체 크기는 선체 길이 및 소음 환경 등에 제한을 받아 통상적으로 약 20~30m 이내이다. 그리고 센서를 보호하고 난류유동에 의한 자체소음을 최소화하기 위하여 센서 바깥쪽에는 코팅층이나 소나돔이 설치되며, 안쪽에는 함 선체로부터의 진동유기 자체소음을 저감시키기 위하여 음향배플이 설치된다. 따라서 소나의 탐지성능 극대화를 위한 최적 센서 구조설계를 위해서는 이 부가구조물들의 음향특성 및 센서 수신에 대한 영향 분석이 반드시 필요하다.

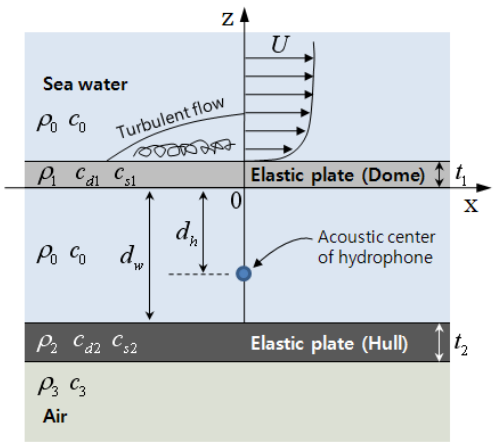

Fig. 1 Theoretical model (2-D multi-layer model)

† 교신저자; 국방과학연구소
E-mail : cyjoh@add.re.kr
Tel : (055) 540-6323, Fax : (055) 542-3737
* 국방과학연구소

본 연구에서는 소나돔 외부에 유기되는 난류 유동소음에 대하여 소나돔과 센서 간 이격거리 및 함 운용속도 등에 따른 음향센서의 수신특성을 고찰하였다.

2. 배열센서의 해석 모델링

소나돔과 센서 간 이격거리 및 함 운용속도 등에 따른 음향센서의 수신특성 해석을 위하여 그림 1과 같이 배열센서를 2차원 무한평판 다층구조 형태로 모델링하였다. 즉, 소나돔 및 선체 구조를 구성하는 각 층을 유체 및 탄성체로 이루어진 2차원 무한평판 층으로 모델링하고, 각 층의 전달함수 행렬(transfer matrix)과 정합경계조건(matched boundary condition)을 사용하여 상부 무한영역에서 다층구조로 입력되는 가진력에 대한 하이드로폰 위치에서의 응답특성을 구할 수 있다.

난류 유동소음 모델은 가장 널리 알려진 Corcos 모델을 사용하였다. Corcos 모델의 난류 변동압력 파수-주파수 스펙트럼은 다음과 같다.

$$P(k_x,k_y,\omega)=P_0(\omega)\frac{\alpha_1\alpha_2k_c^2}{\pi^2[(k_x-k_c)^2+(\alpha_1k_c)^2][k_y^2+(\alpha_2k_c)^2]}$$

여기서 k_c는 convective 파수, 점(point) 파워스펙트럼은 $P_0(\omega)=a_0\rho_0^2v_*^4/\omega$ 의 형태를 가지며, v_*는 마찰속도(friction

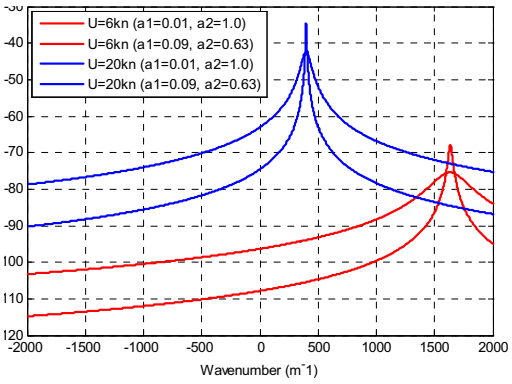

Fig. 2 Turbulent wall pressure spectra as a function of k_x (k_y=0) at 500 Hz

velocity), a_0, α_1, α_2는 상수값이다. 그림 2에는 주파수 500Hz의 경우 유동속도 U 및 α_1, α_2 값에 따른 난류 변동압력 스펙트럼을 k_x에 대해 나타내었다. 본 연구에서 k_y는 0으로 가정한다.

그림 1에 나타낸 다층구조에서 하이드로폰 위치 d_h에서의 주파수 응답은 난류 변동압력 스펙트럼과 전달함수 $T(k_x,k_y,\omega)$를 이용해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q(\omega)=2\pi\iint_{-\infty}^{\infty}P(k_x,k_y,\omega)\,T(k_x,k_y,\omega)dk_xdk_y$$

$$T(k_x,k_y,\omega)=\left|\frac{T_{zz}(k_x,k_y,\omega,z)_{z=-d_h}}{F_0(k_x,k_y,\omega)_{z=t_1}}\right|^2$$

여기서 T_{zz}는 상부 무한영역 경계면에 F_0의 가진력이 주어졌을 때 하이드로폰 위치에서의 수직방향 응력(탄성체층) 또는 압력(유체층)값을 나타낸다.

3. 분석 결과

그림 1의 해석 모델에서 상부 소나돔은 CRP (carbon-fiber reinforced plastic) 재질 및 두께 t_1 =0.020mm, 하부 선체는 steel 재질에 두께 t_1=0.025m로 모델링하였으며, 소나돔과 선체 간 거리는 d_w=0.5m로 가정하였다. 그림 3에는 이와 같은 모델에 대해 d_h=0.2m일 때의 전달함수 $T(k_x,\omega)$값을 몇 개의 주파수에 대해 나타내었다(U=6knots). 그림에서 확인할 수 있듯이 소나돔은 난류 변동압력에 대해 파수영역에서 저대역통과(lowpass) 필터 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

그림 4에는 소나돔에서 하이드로폰까지의 이격거리 d_h에 따른 난류 유동소음의 주파수 응답 $Q(\omega)$를 나타내었다. 그림에서 비교를 위해 점선으로 표시한 곡선은 선체가 없을 때(소나돔 아래쪽이 해수로 채워진 무한영역일 때) 같은 이격거리에서의 주파수 응답을 나타낸다. 소나돔만 있을 경우, 즉 하부가 무한영역일 경우 스펙트럼 레벨은 이격거리에 따라 지수적으로 감소하는 반면 그림 1의 소나돔-선체 모델에서는 이격거리에 의한 영향이 상대적으로 작은 것을 알 수 있다.

그림 5는 함 운용속도(유동속도) U에 따른 영향을 나타내고 있다. 유동속도가 빨라질수록 k_c에 해당하는 난류 변동압력 스펙트럼의 첨두(peak) 위치가 전달함수의 통과영역 안에 위치하게 되므로 유동소음 스펙트럼 레벨이 전체적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

여기에 결과를 수록하지는 않았으나 이와 같은 해석 모델을 이용해 소나돔 및 선체에 부착된 배플 구조와 같은 다양한 설계인자들에 대한 난류 유동소음 해석을 수행할 수 있다.

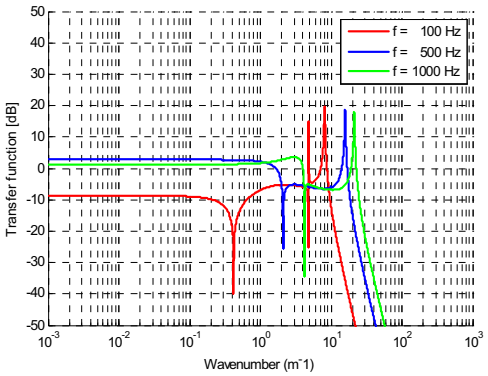

Fig. 3 Transfer function for different frequencies

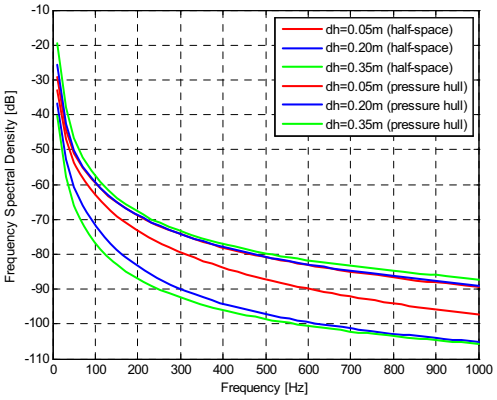

Fig. 4 Frequency spectral density (U = 6 knots)

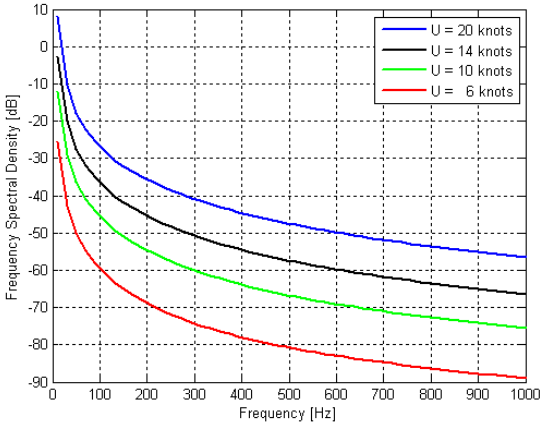

Fig. 5 Frequency spectral density for various flow speeds (d_h = 0.2 m)