



## 잠수함의 음향(소음·진동)

배수룡\*, 손귀현  
(국방과학연구소)

### 1. 머리말

잠수함은 그림 1처럼 작전을 수행하면서 위협 세력을 탐지하고, 그 반대로 위협세력으로부터 끊임없이 추적을 당한다. 잠수함은 그 자신이 내는 소리(음향신호)에 의하여 추적을 당한다. 추적을 당해 잠수함의 위치가 노출되면 매우 위험한 상황에 처하게 되기 때문에 추적을 당하지 않게 하기 위하여 잠수함의 저소음화가 필요하며 이는 생존성과 직결된다.

잠수함을 탐지하기 위한 많은 수단들이 있지만 현재까지의 주류는 잠수함이 내는 소리를 이용하는 것이다. 이와 같은 이유로 잠수함을 설계, 건조를 할 때 가장 중요시 하는 것 중의 하나가 잠수함 음향신호(acoustic signature)를 작게 하는 것이다. 잠수함에서 발생하는 음향신호는 주로 함내에 탑재된 기계류와 함의 소음진동 때문에 발생한다. 음향신호의 종류로는 수중방사소음, 자체소음, 순간소음, 음향표적강도가 있다.

음향을 탐지하는 것으로 수동소나(passive sonar)와 능동소나(active sonar)가 있다. 수동소나는 목표물에서 발생하여 소나로 오는 소음을 탐지하며, 능동소나는 레이더와 같은 원리로 음파를 보내어 반사되어 오는 음파를 이용하여 목표물을 탐지한다. 탐지를 당하는 측에서 보면, 수동소나와 관련된 신호는 자함의 수중방사소음 및

순간소음이고, 능동소나와 관련된 신호는 자함의 음향표적강도(acoustic target strength)다. 자체소음은 잠수함이 목표물을 탐지하는 능력을 나타내는 주요 지표다. 자체소음은 능동소나, 수동소나 모두 관련된다.

잠수함에서 발생하는 소음이 그 잠수함 내에 설치된 소나센서로 전파되는 소음을 자체소음이라고 하며, 또한 원거리로 전파되는 것을 수중방사소음이라 한다. 잠수함이 적을 잘 탐지하기 위해서는 그 자신이 내는 소리를 줄여 잘 듣고 멀리 전파되지 않도록 하여야 한다.

잠수함이 물속에서 움직이기 위해서는 기계류와 프로펠러 등 많은 장비가 가동되어야 하며, 또한 전투를 위한 장비가 가동된다. 잠수함은 운용 특성상 저소음을 유지하여야 하기 때문에 고려하여야 하는 음향신호의 종류가 수상함에 비하여 더욱 많게 된다.

잠수함은 저소음 기계류가 탑재되고, 기계류 같은 소음원에서 전파되는 소음을 전달경로상에서 줄이기 위한 수 많은 소음감소기구가 설치된다. 잠수함은 좁은 공간에 많은 장비와 소음감소기구가 설치되어 설계변경이 매우 어렵다. 따라서 설계초기에 음향 설계요구조건이 설정되고, 설계 및 소음진동 해석이 수행된다.

이 글에서는 잠수함 소음의 발생원인, 주요한 일반적인 특징, 저소음 설계 등에 대하여 간단히

\* E-mail : baespeed@chol.com / (055) 540-6415

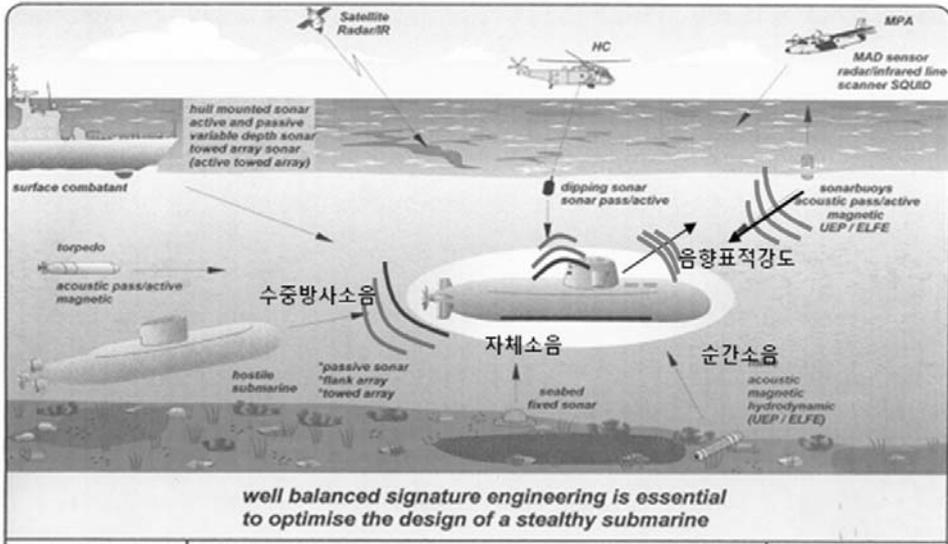


그림 1 잠수함의 위협원 및 음향신호의 종류

소개하고자 한다.

## 2. 소음원의 종류 및 발생원인

잠수함에서 발생하는 소음은 그림 2와 같이 기계류 소음(machinery noise), 유동 소음(flow noise), 추진기 소음(propeller noise), 스프래싱 소음(splashing noise) 스노클항해 때 발생하는 배기가스 소음(exhaust gas noise)으로 구분할 수 있다. 이러한 소음원들은 그 정도는 다르지만 자체소음 및 수중방사소음으로 전파된다.

### 2.1 기계류 소음(machinery noise)

기계류(장비)에 의하여 발생하는 소음은 그림 3과 같이 전달경로(transmission path)에 따라서 구조 소음(structureborne noise), 공기 소음(airborne noise), 유체음(fluid source)에 의한 것으로 구분할 수 있다.

구조 소음은 탄성마운트나 보상기(compensator) 등 고체매질을 통하여 전파되어, 선체를 진동시킨다. 이 진동이 물을 가진시켜 그 음이 수중으로 전파된다. 공기 소음은 음압이 선체를 통하여 수중으로 투과되어 수중으로 전파된다. 유체음은

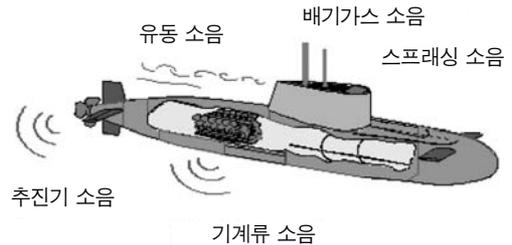


그림 2 잠수함 소음원의 종류

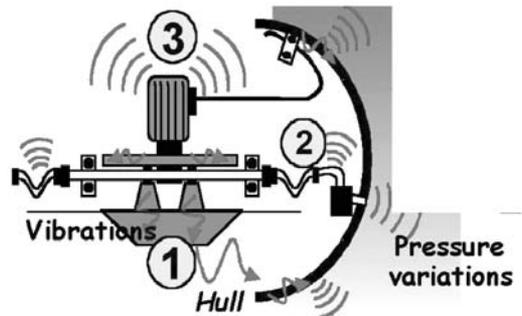


그림 3 기계류 소음원의 전달경로

펌프 날개(blade)의 회전에 의하여 발생하는 압력 변동이 배관을 통하여 수중으로 전파된다. 수중으로 전파된 소음들은 자체소음 및 수중방사소음의 성분이 된다.

## 2.2 유체동역학 소음

유체동역학 소음의 종류로는 프로펠러 소음, 난류압력 경계층에 의하여 생기는 유동 소음(flow noise), 잠망경수심 항해를 할 때 발생하는 스프래싱(splashing noise) 소음이 있다. 이밖에 유체가 세일이나 상부구조물(superstructure)를 진동시켜 생기는 유동유기진동(flow induced vibration)에 의한 소음이 있다.

유동 소음과 프로펠러 소음은 잠수함의 속도가 커질수록 영향이 커진다. 유동 소음과 스프래싱 소음은 주로 1 kHz 이상의 주파수에서 발생한다.

## 2.3 배기가스 소음(exhaust gas noise)

스노클 항해시 배기가스가 물속으로 배출될 때 기포가 터져 수중방사소음이 발생한다. 이 소음은 발생 주파수 대역이 1 kHz 이상이고 이 소음에 대한 감소는 매우 어려운 것으로 알려져 있다.

## 3. 수중방사소음

2장에서 설명한 소음원들은 그 정도가 다르지만 수중방사소음의 한 성분이 된다.

기계류에 의한 수중방사소음은 주로 저속에서 영향을 크게 나타내며 발생 주파수 대역은 1 kHz 이하이다. 기계류에 의한 수중방사소음은 기계류의 소음 수준, 전달경로에서의 전달손실, 선체의 임피던스(impedance)와 선체의 방사효율(radiation efficiency)에 의하여 결정된다.

잠수함 선체의 방사효율은 선체의 두께, 프레임 간격, 재질 특성에 따라서 결정된다. 선체의 두께는 수중방사소음에서 상반된 특성을 가지고 있다. 선체의 두께가 두꺼워지면 방사효율은 커지지만 반면에 선체의 임피던스가 증가하여 선체에서의 구조 소음 수준을 감소시킨다. 선체의 방사효율보다는 선체의 임피던스가 수중방사소음에 더 큰 영향을 나타내는 것으로 알려져 있다.

미국과 러시아의 원자력 잠수함은 수상배수량이 1,000톤 증가할 때 수중방사소음은 8 ~ 10 dB

감소하는 경향을 보인다. 또한 스웨덴의 FMV (swedish defense material administration)에서 발표한 자료에 의하면, 최근 수십 년 동안 저소음화의 노력으로 재래식 잠수함은 1년에 약 1 dB 정도씩 수중방사소음 수준이 낮아지고 있는 것으로 알려져 있다.

배수량이 커지면 장비의 파워증가에 의한 영향 보다는 잠수함 구조물의 임피던스 증가와 공간 증가로 인하여 소음감소설계가 용이하게 되어 수중방사소음이 감소한다.

## 4. 자체소음

2장에서 설명한 소음원들은 그 정도가 다르지만 자체소음(self noise)의 한 성분이 된다.

잠수함이 수중에서 적함을 탐지하는 거의 유일한 수단은 외부로부터 오는 음향을 이용하는 것이다. 자체소음은 소나의 하이드로폰에서 나타나는 원하지 않는 소리로 수중방사소음과 같이 탐지·피탐지의 전술적인 운용 측면에서 매우 중요하다. 자체소음은 잠수함의 전술속도를 결정하는 매우 중요한 요소다.

자함에서 발생하는 자체소음이 작으면 외부로부터 오는 음향을 탐지하는 능력은 좋아진다. 잠수함에는 일반적으로 선수부에 원형 또는 구형 소나가 있고 다른 위치에 다른 목적으로 많은 소나가 있다. 그리고 대부분의 최신 잠수함들은 저주파수 대역의 수중방사소음을 탐지하기 위하여 잠수함의 측면에 선측배열소나(FA, frank array)를 부착하고 있다. 일반적으로 선측배열소나를 위한 감소설계는 수중방사소음에 대한 감소설계 보다 상대적으로 어렵다.

소나돔은 유동유기진동(flow induced vibration)에 의한 영향을 없애기 위해 감쇠(damping)처리를 한다.

자체소음은 속도에 따라 서서히 증가하다 어떤 특정한 속도 이상에서는 매우 증가하는 경향이 있다. 자체소음 수준과 속도별 경향은 잠수함의 전술속도(tactical speed)를 결정하는 중요한 요소다.

## 5. 순간소음

순간소음(transient noise)은 충격소음(impulse noise)라고도 하며 수중방사소음의 한 형태로 공격잠망경을 올리거나 어뢰발사관의 문을 열 때 등 장비가 일시적으로 가동될 때 발생한다. 순간소음은 주변소음에 비하여 순간적으로 큰 소음을 발생시키며 이로 인하여 잠수함이 쉽게 탐지가 되기도 한다.

## 6. 음향표적강도

일반적으로 능동소나는 탐지 후에 거리, 위치, 속도 등을 파악하기 위하여 사용되며 잠수함의 능동소나에 대한 피탐지 성능은 음향표적강도로 나타낼 수 있다.

음향표적강도는 능동소나로부터 입사된 음향에너지와 잠수함의 표면에 맞아 반사되는 음향에너지의 비로 정의된다.

음향표적강도의 크기는 잠수함의 크기, 구조 등 형상에 따라 결정된다. 그러므로 대부분의 대형 잠수함은 음향표적강도를 줄이기 위하여 선체의외부에 음향코팅재를 부착한다.

그림 4, 5는 잠수함을 간단하게 모델링하여 해석한 결과를 보여준다. 실제적으로는 잠수함의 음향표적강도 해석은 잠수함 캐드 자료를 이용하여 매우 정밀하게 수행한다.

## 7. 잠수함의 소음감소설계

### 7.1 음향통제의 정의

잠수함이 작전을 원활히 수행하기 위하여 가져야 할 음향신호에 대한 요구조건(기준)은 위협세력, 운용조건, 기술적인 한계, 비용 등을 분석하여 결정된다.

음향통제는 잠수함이 가져야 할 음향신호에 대한 기준을 만족시키기 위하여 수행된다. 즉 저소음 설계를 하는 것이다. 음향통제는 크게 기계류 장비에 대한 통제와 함에 대한 통제로 나눌 수 있

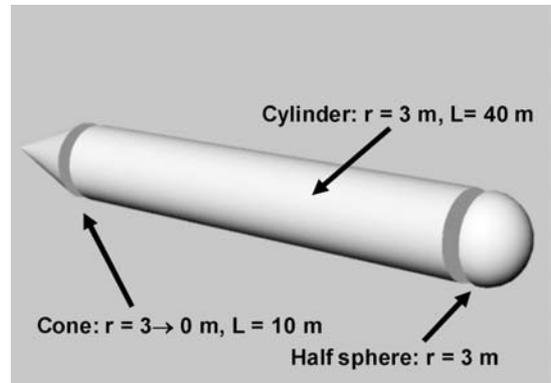


그림 4 잠수함의 음향표적강도 간단화 모델(예)

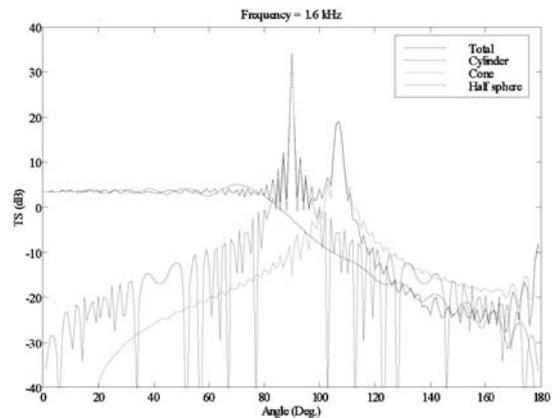


그림 5 간단화 모델 음향표적강도 해석 결과(예)

다. 음향설계자는 음향요구조건(기준), 설계결과, 해석결과, 과거의 경험을 바탕으로 중점적으로 통제되어야 할 대상을 정한다.

### 7.2 음향통제의 절차 및 방법

음향통제는 일반적으로 그림 6과 같은 절차로 수행된다.

잠수함 탑재장비에 대한 소음기준은 일반적으로 수상함은 MIL-STD-740같은 형식별(type)로 소음기준이 주어지나, 고도의 저소음을 요구하는 잠수함에서는 적용하지 않는다. 잠수함의 경우 개별 장비마다 별도의 소음기준과 측정방법이 규정된다. 개별 장비마다 별도의 기준을 정하면 잘 설계되고 잘 제작된 장비만이 기준을 만족

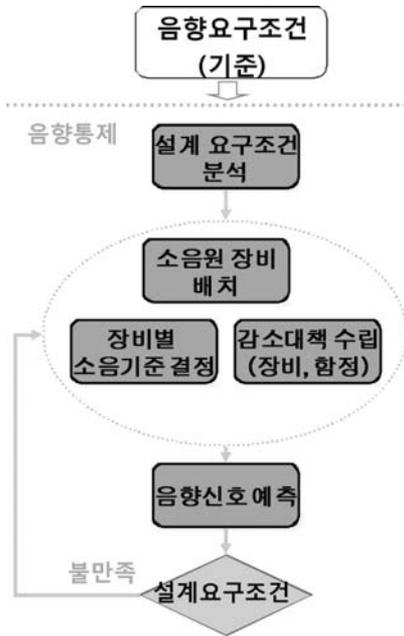


그림 6 잠수함 음향통제 절차

시킬 수 있고 이런 장비 만이 잠수함에 탑재된다. 잠수함에 탑재되는 장비의 경우 1/3 옥타브 밴드 기준과 더불어 저주파수 대역의 수중방사소음과 자체소음을 통제하기 위하여 1 kHz 이하에서 1 Hz 협대역(narrow band) 소음기준이 있다.

잠수함에 사용되는 대표적인 소음감소설계 방법은 그림 7과 같이 구조 소음을 감소시키기 위한 래프트(raft), 공기소음을 차단하기 위한 음향상자(acoustic enclosure)가 있다. 잠수함은 수상함과 달리 기계류의 1차 전달경로만이 아니라 2차 전달경로에서도 소음감소설계를 한다.

## 8. 멧음말

잠수함에서 음향(소음진동)신호는 은밀성을 생명으로 하는 잠수함의 특성상 매우 중요하다.

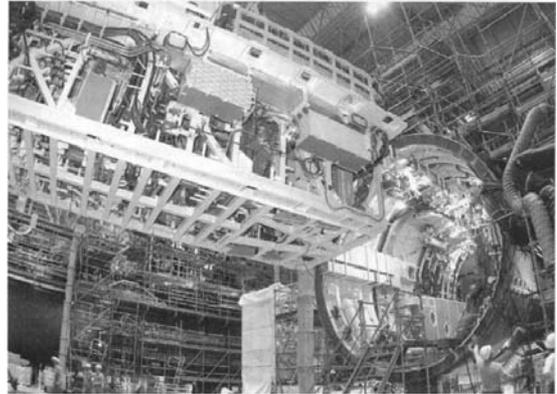


그림 7 잠수함 래프트(예)

잠수함은 수상함에 비하여 전반적으로 저소음이기 때문에 설계 및 해석에서 고려하여 할 소음원과 장비가 많다. 따라서 잠수함의 소음감소설계 및 해석은 정밀도가 매우 높아야 하며, 실적함 등의 자료가 많이 축적되고 이용되어야 한다.

잠수함의 소음을 예측하고 감소하는 기술은 선진국이 기술이전을 회피하고 있는 기술로 국내 독자 개발이 필수적이다. 선진국 잠수함에 적용하고 있는 저소음화 기술을 한국이 개발할 때면 선진국은 새로운 기술을 개발 완료하여 잠수함에 새롭게 적용한다. 그러므로 저소음 잠수함을 설계, 건조하기 위해서는 설계초기단계에서부터 소음요구조건이 제시되고, 소음감소에 대한 설계와 해석이 수행되어야 한다. 또한 저소음을 구현하기 위하여 저소음 기계류 개발과 소음감소기구 개발이 이루어져야 한다.

현재 국내의 소음감소설계 기술, 소음해석 기술은 아직은 선진국 수준에 못 미치고 있는 실정이며 해외기술도입 또한 불가한 분야이다. 따라서 산학연 협업을 통해 이 분야의 기술고도화가 조속히 이루어져야 선진국 수준의 잠수함 은밀성이 달성될 것이다. **KSNVE**