특집

함정 소음진동

# 함정의 소음과 진동

정 우 진
(국방과학연구소 제6기술연구본부)

## 1. 머리말

함정에서 발생되는 소음과 진동은 함정 선체와 함정내 각 격실(room)로 전파되어서 함정 승조원의 근무환경에 영향을 미치며, 적의 음향탐지체계에 탐지될 수 있는 음향신호인 수중방사소음(underwater radiated noise, URN)와 함정에 탑재된 각종 음향센서들의 탐지성능을 저하시키는 음향신호인 자체소음(self noise)등을 발생시키는 소음원(source)이다.

함정 소음과 진동에 의하여 함정 음향신호가 크게 발생할수록 적에게 탐지될 수 있는 가능성이 높아지고 함정에 탑재된 음향센서의 탐지능력을 저하시켜 함정이 보유한 전투력과 생존성을 취약하게 만든다. 따라서 함정의 피탐가능성 최소화 및 탑재 음향센서의 탐지 능력 극대화를 위해서는 함정의 수중방사소음 감소가 필수적이다.

이 글에서는 저소음 함정개발을 위한 함정 음향 스텔스(acoustic stealth) 성능의 핵심요소인 수중방사소음에 대해서 기술하였다.

## 2. 수중방사소음 특성

수중방사소음은 함정 내부에 탑재된 장비들의 운용에 따라서 발생된 소음과 진동이 여러 경로를 거쳐서 함정선체를 통하거나 직접적으로 함정선체 외부에 접한 수중으로 음향신호로 전파되는 소음을 말한다. 수중방사소음은 소음원에 따라 다음과 같이 구분할 수 있으며, 이들 소음원별 특성은 다음과 같다.

가. 탑재장비에 의한 기계류 소음(machinery noise)
나. 유체동력학 소음(hydrodynamic noise)
다. 추진기 소음(propeller noise)

### 2.1 탑재장비에 의한 기계류 소음

함정에 탑재된 주요 장비들은 추진용 엔진, 감속기, 발전기, 펌프 등과 같은 보기류 등이다.

기계류 소음은 탑재된 추진계통 장비 및 보기류에서 발생하는 성분으로 저속과 중속에서 우세하게 나타나는데 주로 2 kHz이하 대역에서 순

그림 1 함정 수중방사소음원

* E-mail : wjjung@add.re.kr / (055) 540-6334

음(tonal noise) 특성으로 출현하기 때문에 기계류 소음이 발생하는 함정의 탐지(detection) 및 식별(classification)에 관여하는 중요한 소음이다. 한편 보기류 배관을 통해서 발생하는 소음도 1 kHz 대역이상에서 수중방사소음에 크게 기여하는 것으로 알려져 있다.

그림 3에 나타난 바와 같이 기계류 소음원에 의하여 수중으로 전달되는 수중방사소음 전달경로는 크게 3가지가 있으며 각각 구조전달경로(structure-borne path), 공기전달경로(air-borne path) 및 유체전달경로(fluid-borne path)라고 하며, 기계류 소음원에 의한 수중방사소음 감소시 이들 전달경로에 따라 적절한 감소대책을 적용하는 것이 효율적이다.

### 2.2 유체동역학 소음

유체동역학 소음은 불규칙적으로 생성되며 운항중인 해군 무기체계의 외부 선체를 지나가는 유체의 흐름에 의해 발생되며, 유동에 의해 선체

그림 2 함정에서 소음진동을 발생시키는 주요 소음원들

표 1 기계류 소음원 특성

| 구분 | | 추진 시스템 | 보기류 |
|---|---|---|---|
| 주파수 변동 | | 함정 속도에 따라 주파수 성분이 변화하는 소음 | 함정 속도와 무관하게 일정한 주파수 특성을 보이는 소음 |
| 방사 소음 경향 | 함속도 ($V$) | 3승에 비례<br>$SPL \sim 10*\log(V^3)$ 또는<br>$SPL \sim 20*\log(V^{1.5})$ | 함정 속도에 무관 |
| | 주파수 | -6 dB/Octave | -6 dB/Octave |

벽 경계층에 의해 발생되는 소음을 유동 소음(flow noise)라 하며, 유동에 의하여 구조물을 진동시켜 발생되는 유체 기인 소음(flow-induced noise)과 함정이 수면을 달리면서 나타나는 splashing noise가 있으며, 광대역 소음(broad band noise) 특성을 가진다. 유체동역학 소음의 크기는 운항 속도의 5승 또는 6승에 비례[$SLP \sim 10*\log(V^5 \sim V^6)$ 또는 $SLP \sim 20*\log(V^{2.5} \sim V^3)$]하여 증가한다.

### 2.3 추진기 소음

일반적으로 추진기 소음은 저속에서는 수중방사소음 전체 수준에 영향을 끼치지 않지만, 고속에서는 가장 큰 소음원이다. 저속에서는 추진기의 추력 변동에 의한 날개 회전수에 해당되는 토널(blade rate tonal)이 발생하고, 고속으로 가면서 날개 주위의 공동(cavitation) 현상에 의해 소음 수준이 급격히 증가되는 경향을 가진다. 또한 추진기 날개 면에서 발생하는 와류(vortex)가 날개 끝단을 이탈하는 주파수인 와류이탈 주파수(vortex shedding frequency)와 날개 구조물의 공진 주파수가 일치할 때, 아주 높은 수준의 토널 성분이 발생하는데, 이러한 현상을 추진기 명음(singing)이라 하며 주로 100 ~1000 Hz 대역에서 발생한다.

추진기 공동 소음은 그림 4와 같이 속도가 증가함에 따라 중심 주파수가 저주파 대역으로 이동

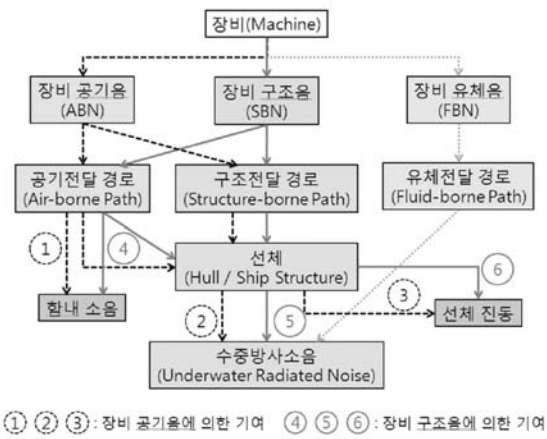


그림 3 함정 탑재장비 공기음과 구조음에 의한 기여도

하고 날개 회전수 토널을 제외하고는 특별한 토널 성분이 없는 광대역 소음 특성을 나타낸다. 추진기 공동 소음은 함정 속도가 증가함에 따라 속도에 11승 또는 12승에 비례[$SLP$~10*log ($V^{11}$~$V^{12}$) 또는 $SLP$~20*log($V^{5.5}$~$V^{6}$) ] 하여 증가하며, 추진기 공동 소음이 발생된 경우에는 함정의 수중방사소음 수준이 추진기 공동 소음 발생전에 비해서 20 데시벨(dB)이상 급격히 증가하는 것으로 알려져 있다. 공동 소음이 발생하면 함정 피탐지 특성이 매우 열악해질 뿐만 아니라 함정 자신의 소나운영에도 문제가 발생할 수 있다.

## 3. 수중방사소음 해석

그림 5에 나타난 바와 같이 수중무기체계의 음향탐지는 거의 모든 주파수 대역에 걸쳐 있어 건조되는 함정의 수중방사소음 수준은 거의 모든 주파수 영역에 관심을 두어야하나, 현실적으로 불가능하므로 함정에서는 일반적으로 10 kHz 대역까지 고려하여 수중방사소음을 해석하고 필요한 감소대책을 수립한다.

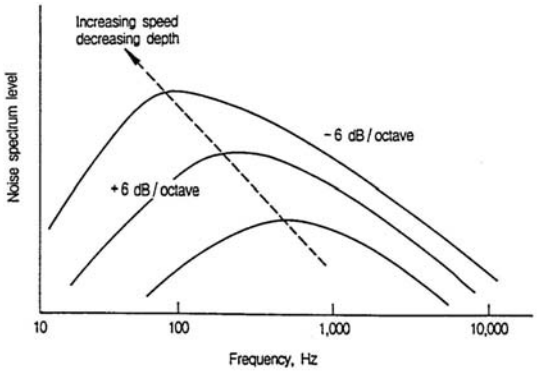


그림 4 추진기 공동 소음의 특성

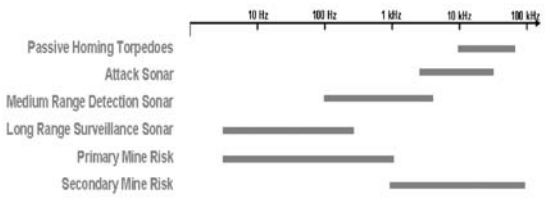


그림 5 수중 위협 세력별 탐지 주파수 영역

수중방사소음을 해석하는 방법으로는 크게 통계학적 에너지 해석법(SEA), 파워흐름 해석(PFA)와 전달함수법(TFM) 등이 있다.

통계학적 에너지 해석법과 파워흐름 해석법은 주로 고주파 대역에서 유용한 방법이며, 전달함수 해석법은 상대적으로 넓은 주파수 대역에서 수중방사소음을 해석할 수 있는 장점이 있다. 통계학적 에너지 해석법은 대표적으로 AutoSEA라는 상용 S/W가 있으며, 파워흐름 해석법은 국방과학연구소가 제안하고 서울대학교 조선공학과

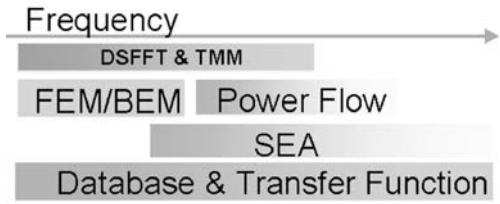


그림 6 전달함수 해석법과 타 해석법의 주파수 범위 비교

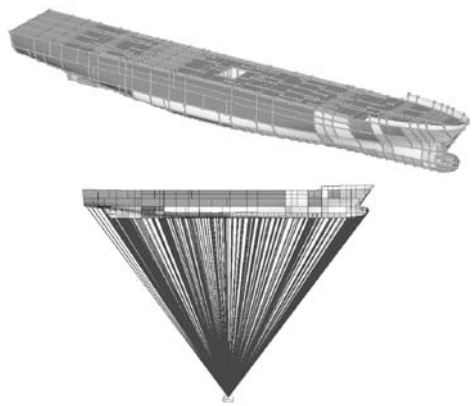

그림 7 수중방사소음 해석을 위한 SEA 모델 예

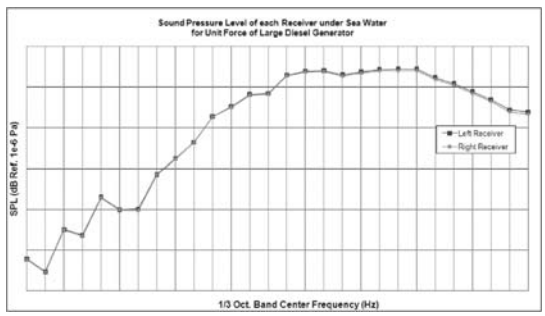


그림 8 SEA 모델을 이용한 수중방사소음 해석 예

에서 개발한 PFFEM(power flow finite element method) S/W가 있다.

통계학적 에너지 해석법과 파워흐름 해석법은 주로 고주파 대역에서 유용한 방법이나, 신뢰성 높은 수중방사소음 해석을 위해서는 각 요소별 연성 손실 계수(coupling loss factor)에 대한 입력이 필요하나, 건조 전 설계 단계의 함정에 대해서는 연성 손실 계수값을 파악하는 것은 매우 어렵다. 또한 보기류의 경우 추진장비들에 비해 장비 자체의 중량 및 구조음 수준은 높지 않지만, 해수배관과 연결된 보기류는 해수를 통한 유체소음(fluid-borne noise)과 우회 전달경로(flanking path)를 통한 소음으로 인해 보기류 구조음 수준만 고려한 방사소음 수준보다 높은 경향을 보이게 된다. 따라서 함정 설계단계에서 통계학적 에너지 해석법과 파워흐름 해석법은 보기류에 의한 수중방사소음 영향을 고려하기에는 어려움이 있으며, 특히 함정의 피탐지 특성을 결정하는 중요한 주파수 대역은 저주파 대역이므로 고주파 대역해석에 유용한 통계학적 에너지 해석법과 파워흐름 해석법은 수중방사소음 예측 등에는 제한이 있으나, 수중방사소음 감소대책을 수립하는 경우에는 유용할 것으로 보인다.

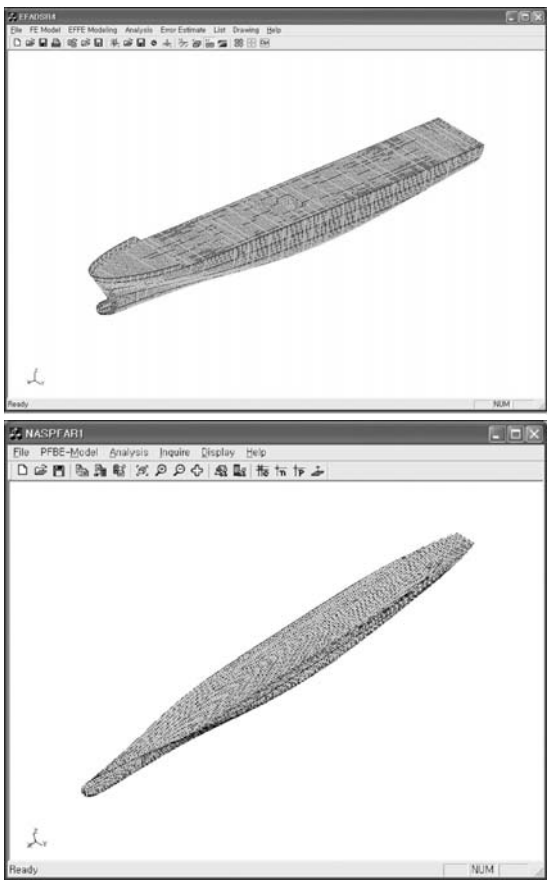


그림 9 수중방사소음 해석을 위한 PFFEM 모델 예

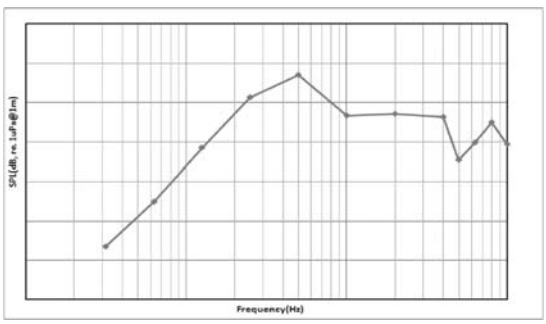


그림 10 PFFEM 모델을 이용한 수중방사소음 해석 예

국방과학연구소에서는 건조 전 설계 단계에서 함정 수중방사소음 예측을 위해 보기류에 의한 수중방사소음 데이터베이스와 전달함수법을 이용한 해석을 수행하고 있으며, 이를 위한 자체 개발한 S/W(SurfURN)를 적용하고 있다.

## 4. 수중방사소음 감소대책

함정 소음진동에 의해서 발생되는 중요한 음향신호인 수중방사소음을 감소시키는 것은 매우

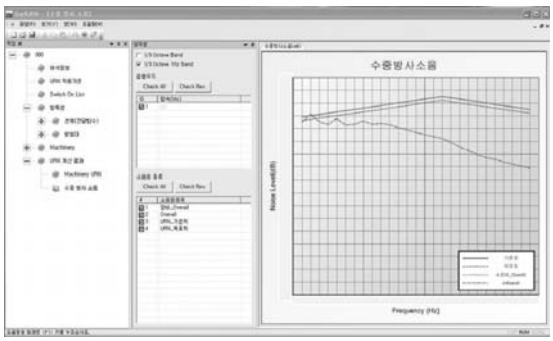


그림 11 국방과학연구소가 개발한 수중방사소음 해석 S/W 예제 화면

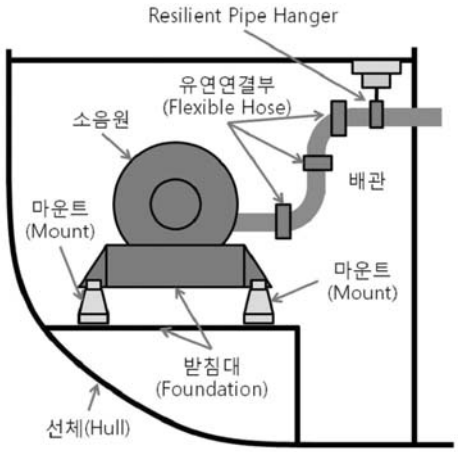


그림 12 수중방사소음 감소를 위한 탑재장비 설치 예

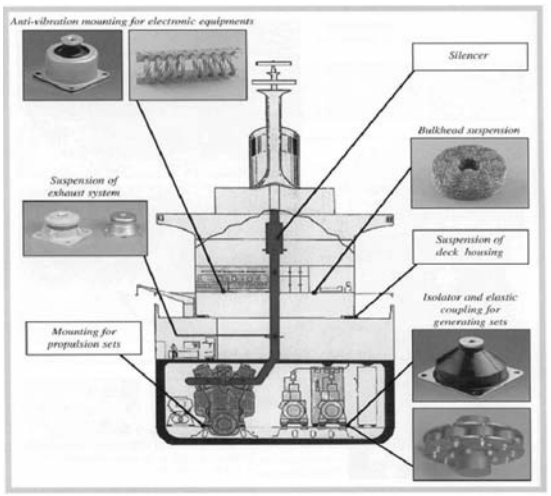


그림 13 마운트 설치 예(프랑스 Paulstra 사 자료)

중요하다. 함정 수중방사소음 감소를 위해 먼저 선체의 진동저감 설계가 매우 중요하나, 여기서는 선체설계가 잘 수행된 경우로 가정하고 수중방사소음 감소 대책을 언급하였다. 함정에서 발생되는 수중방사소음은 근본적으로 함정에 탑재되는 장비들로부터 발생되므로 이들 탑재장비에서 발생한 소음과 진동이 함정 선체로 전달되는 것을 최소화 하는 것이 가장 바람직한 수중방사소음 감소대책이 된다.

현재까지 가장 효과적으로 사용되는 수중방사소음 감소대책은 함정에 탑재되는 장비들과 선체사이에 고무마운트 등을 이용하여 격리시키는 것이다. 이 방법은 함정의 수중방사소음은 물론 상선, 여객선 및 크루즈선의 소음과 진동을 감소시키기 위한 가장 효율적인 방법으로 알려져서 많이 적용하고 있다. 한편 함정 수중방사소음은 각종 보기류의 배관계통에서도 많이 발생하므로 보기류의 배관과 선체사이에도 파이프행거(pipe hanger) 및 유연연결부(flexible hose)를 적용해서 서로 격리시켜야 한다. 향후 미래에는 능동마운트(active mount)의 적용도 가능할 것으로 보인다.

## 5. 맺음말

함정에서 소음과 진동에 의한 수중방사소음은 함정 외부로 전파되는 음향신호이므로 함정의 전투능력과 생존성 향상을 위해서는 반드시 감소시켜야 할 중요한 음향신호이다. 함정에서 발생되는 음향신호를 감소시키는 것을 음향 스텔스라고 부른다.

국내에서는 1990년대 중반이후부터 음향 스텔스 관련 기술을 함정에 적용하기 시작하였다. 함정 음향 스텔스 기술은 선진국에서 철저히 보호하는 기술일 뿐만 아니라 함정 성능 향상을 위해서는 반드시 보유해야하는 기술로 이에 대한 국내 자체 개발이 필수적이므로 관련 기초기술 개발을 위한 국내 관련기관간의 적극적인 협력이 필요할 것으로 보인다. KSNVE