

# 함정 음향 스텔스 설계를 위한 소음 진동 기술

전 재 진\*

(국방과학연구소 제2체계개발본부)

## 1. 머리말

사회가 산업화되면서 생활 제품의 고부가가치를 창출하기 위하여 소음 진동 분야의 많은 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 결과 인간 사회의 생활이 매우 윤택해지고 있다. 생활 수준의 향상으로 소음 진동 분야의 기술은 자동차, 항공기, 철도 차량 등의 운송기계 분야에서 인간 사회의 안락한 분위기 창출에 중요한 역할을 담당하고 있으며, 더욱 중요한 환경 기술로 대두되고 있다. 이러한 소음 진동 기술은 군사 기술에서는 사용자의 편의성 확보뿐만 아니라, 무기체계의 성능 향상 측면에서 다양하게 이용되고 있으며, 최첨단의 기술을 주도하고 있다. 무기체계에서 소음 진동 기술은 육군, 공군 무기체계 뿐만 아니라 특히 정보 전달 매체로 음향 에너지를 이용하는 해군 무기체계에서는 소음 진동으로 비롯되는 수중 방사소음 형태로 상대방의 탐지체계에 노출을 저하시키려는 생존성 측면에서 중요한 부분을 차지하고 있으며, 요사이 회자되고 있는 스텔스 기술의 중요한 위치를 차지하고 있다.

해군 무기체계의 대표적인 함정에 있어서 소음 진동 기술 분야는 특수 성능으로 분류되어 중요한

성능을 결정하는 체계 기술이며, 관심을 두는 주파수 영역이 수 Hz에서 수십 kHz까지 상당히 넓다. 또한 일반 선박의 진동에서 다루는 것과 다르게 소음 진동을 다루는 방향이 작전을 수행하는 면에서 고려되어야 할 요소에 대해 많은 해석이 이루어지고 있다. 현대로 오면서 해군 무기체계에서의 소음 진동기술은 음향 스텔스(acoustic stealth) 기술의 카테고리에 포함되어 상대방의 음향 탐지체계에 노출을 최소화하는데 목적을 두고 기술 개발을 발전시켜가고 있다.

## 2. 함정 음향 스텔스 기술의 개요

함정의 음향 스텔스 기술은 수중에서 음향 탐지체계를 이용하여 상대방을 인지하기 위하여 이용되는 수동소나(passive sonar)에 대한 것과 능동소나(active sonar)에 대한 기술의 두 가지 기술로 크게 분류할 수 있다. 수동소나를 이용한 탐지의 주요 대상은 함정에서 발생하는 수중 방사소음(underwater radiated noise)이며, 능동적인 방법에서는 지상무기체계에서 중요시되는 레이더 반사면적(radar cross section)에 해당되는 음향표적강도(acoustic target strength)가 있으며, 음향 표적 강도는 소음 진동 기술이라기보다는 음향 기술에 밀접하다. 특히 이러한 음향 스텔스 기술은 잠수함에 있어 은밀성을 보장받기 위해서 더욱 중요

\* E-mail : jijeon@add.re.kr

한 기술이다. 함정의 음향 스텔스 성능은 'The more the better'라 할 수 있지만, 주변의 환경, 국가의 경제적 능력 등을 고려해서 적절한 수준을 가지려는 노력을 국가별로 나름대로 진행하고 있다. 그리고 함정 수중 방사소음 감소를 통한 음향 스텔스를 위해서 필요한 해석 기술과 감소 대책은 적절한 음향 스텔스 성능 설계를 위해 선결되어야 할 문제이므로 국가별로 심혈을 기울여 다양한 연구를 수행하고 있다.

함정의 음향 스텔스에 있어 수동소나에 의한 피탐지 특성을 나타내는 수중 방사소음 특성은 하나의 값으로 주어지는 것이 아니라, 함정을 탐지기 위해 음향 수신 기구를 갖고 있는 체계에서 관심을 두는 주파수 영역이 무기체계에 따라 그림 1과 같이 매우 다양하다. 그러므로 다양한 무기체계에 대항하기 위해 함정의 음향 스텔스 성능을 해석해야하는 주파수 영역은 저주파에서 매우 높은 주파수 대역에까지 걸쳐 있어, 하나의 방법으로는 불가능하며 다양한 해석 방법이 필요하게 된다. 또한 함정의 설계 단계별로 확보되거나 정의될 수 있는 자료의 불확실성으로 데이터 베이스의 활용이 무엇보다 중요한 위치를 차지하고 있고, 이러한 데이터 베이스는 보안으로 관리되어 지고 있다. 그리고 장비의 구조전달소음 규격으로 택하고 있는 MIL-STD-740-2에 보면 측정 주파수 대역이 최대 1/3옥타브 밴드에서 10 kHz 밴드까지 고려하고 있어, 함정의 수중 방사소음에서 소음 진동의 기여 주파수 영역 및 해석 주파수 영역을

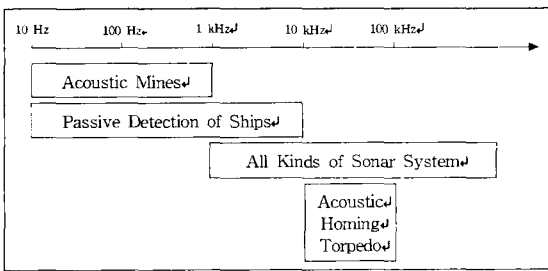


그림 1 함정 수중 방사소음의 피탐지 주파수 영역

간접적으로도 알 수 있다.

함정에 탑재되는 무기체계까지 고려할 때, 해군 무기체계에 소요되는 소음 진동 기술은 알려진 대부분의 기술과 첨단 기술이 집합되고 있다. 그 중 이 글에서는 음향 스텔스 위한 소음 진동 기술에서 다양한 방사소음 해석 기술과 방사소음을 줄이기 위한 방법들 중 대표적인 방법들을 소개하였다.

### 3. 함정 방사소음 해석 기술

함정은 운항 중에 본질적으로 수중으로 소음을 발생하고 있으며, 이들 소음의 크기에 따라 적으로부터 공격을 당할 가능성이 달라지게 되므로 소음을 작게 하려는 노력이 음향 스텔스의 기본이다. 함정의 소음은 탑재되어 있는 여러 장비를 작동할 때 발생하는 소음과 진동에 의하여 방사소음이 발생하며 소음의 특성은 연속적이며 넓은 주파수 대역에서 나타난다. 그러므로 함정이 요구되는 음향 스텔스 성능을 가지기 위해 탑재되어 있는 장비에 의해 발생하는 소음의 정도를 해석하고 적절한 감소 대책의 수립이 필요하게 된다. 함정의 방사소음 해석을 위해서는 장비의 진동 측, 구조 전달소음(structureborne noise)에 대한 해석과 공기음(airborne noise)에 대한 해석, 추진기 소음 해석, 유체동력학적 소음에 대한 해석이 이루어져야 하며, 여기서는 함정에서 가장 중요한 소음원인 기계류의 소음원과 진동원에 의한 방사소음 해석 기술에 대하여 언급하였다. 그림 2는 함정내의 소음원 별로 그 전달 경로를 보여주고 있다.

함정의 방사소음 해석을 위한 소음 진동 관련 기술은 머리말에서 언급한 것과 같이 해석 주파수 영역이 매우 넓고, 해석 대상체가 매우 복잡한 형상을 가질 뿐만 아니라 크기가 매우 크므로 하나의 해석 방법의 적용으로 원하는 결과를 얻기는 매우 어렵다. 그러므로 다양한 해석 기술이 필요

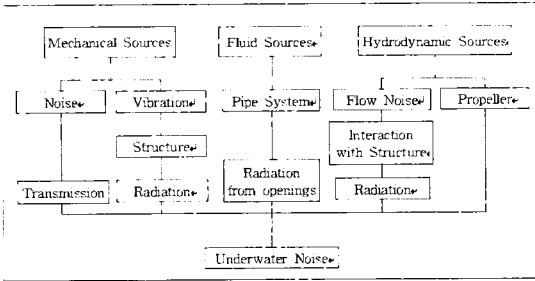
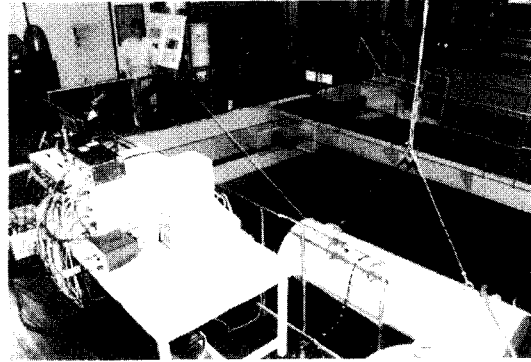


그림 2 함정 수중 방사소음의 피탐지 주파수 영역



(a)

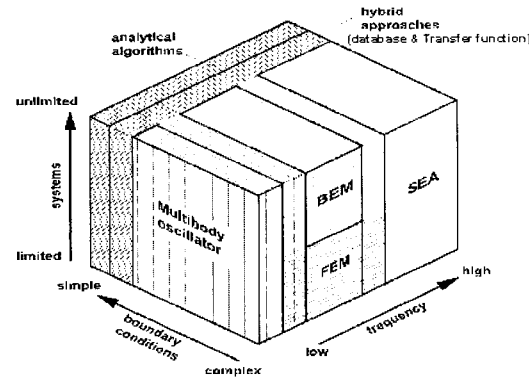
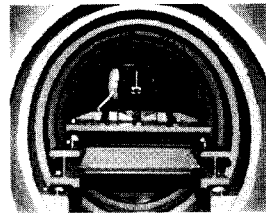
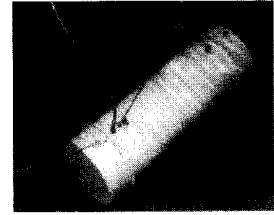


그림 3 방사소음 해석에 이용되는 방법



(b)



(c)

그림 4 잠수체 모형 수조 시험 장면 : (a) 진동 및 수중 방사소음 측정 시스템, (b) 잠수체 모형 내부, (c) 물 속에 설치된 모습

하며, 함정의 설계 단계에 따라 해석 기술의 적용도 다양해져야 한다. 그 뿐만 아니라 새로운 함정을 설계할 경우, 설계 단계에 따라 구조 변경에 따른 불확실성이 존재하므로 적용할 수 있는 방법을 달리할 필요가 있다. 함정의 소음 진동 해석의 궁극적인 목적은 거주 공간내의 소음 수준과 수중 방사소음 수준을 해석하는데 있다. 수중 방사소음을 해석하는 방법으로는 그림 3에서 보여 주듯이 해석 주파수 영역 및 해석 대상 모델의 구조 형상에 따라 수학 모델에서 데이터 베이스를 이용하는 여러 가지 방법이 있다.

수상함이나 잠수함과 같은 복잡한 구조물에서의 진동 및 음압 복사에 대하여 정확하게 모델링하고 예측하는 것은 어려운 문제다. 또한 대량 생산이 아닌 제한적인 수량을 만들고 제작하기 때문에 새

롭게 설계되는 대상체가 만들어지기 이전에 소음 진동에 대한 해석이 이루어져야 하며, 이러한 해석 결과를 토대로 위험 요소를 최소화하여야 한다. 그러므로 그림 3에 보여주는 거의 대부분의 기술이 설계 단계에 따라 적용 구역, 해석 정도 및 주어지는 자료의 제한성 정도에 따라 적용하는 기술을 적절히 선정하여 이용한다. 그러므로 유사 실적선에 대한 데이터 베이스 구축 및 그것을 이용한 해석은 이러한 불확실성을 최소화 하기 위하여 반드시 필요한 것이며, 함정의 음향 스텔스를 위해 많은 데이터 베이스 확보가 가장 중요한 기술 능력이라 할 수 있다. 함정에 관련된 실제 음향 관련 기술은 거의 대부분이 비밀로 분류되어 기술을 보호하고 있는 실정으로 국내에서 독자적인 기술을 확보하여야 할 것이다. 그림 4는 국방과학원

구소에서 실시한 원통형 구조의 수중 방사소음 해석 검증에 관한 실험을 보여 주고 있으며, 이러한 실험을 통하여 해석 기술을 이용한 함정 해석 모델들을 구축해가고 있다.

그림 5는 수상함정에 대한 통계에너지 해석법을 적용하기 위해 상용 S/W인 AutoSEA를 이용한 수상함 모델링을 보여주고 있다. 통계 에너지 해석법은 함정 소음해석에 가장 널리 활용되고 있는 방법으로 해석 구역의 평균적인 에너지를 나타내므로 함정 방사소음의 방향성, 선체에서의 에너지 분포 등 국부적인 특성을 표현하는데는 제한점을 가지고 있으나, 전체적인 경향을 분석하는데는 좋은 결과를 제공해 준다. 통계에너지법을 포함한 방사소음 해석에 이용되는 모든 해석 기술은 나름대로의 장점과 단점을 가지고 있으며, 해석 대상체에 따라 같은 해석 기술일 지라도 적용을 달리 해야만하기 때문에 해석에는 많은 경험적인 요소와 데이터 베이스를 필요로 하고 있다.

국방과학연구소에서는 함정 방사소음 해석을 위한 이러한 여러 가지 소음 진동 기술을 확보하고 있으며, 이를 이용하여 앞으로 확보할 함정의 음향 스텔스 수준을 분석하고, 중요한 감소 대책의 요구 감소 성능을 도출하고 있을 뿐만 아니라, 우리나라 해군이 운용하고 있는 모든 함정의 소음 진동 측정 자료를 데이터 베이스화 해가고 있으며, 이를 기초로 해석 방법의 신뢰성을 향상시켜

가고 있다. 또한 해석 기술의 신뢰성 향상을 위하여 학계를 이용한 기초 연구를 지속적으로 진행해가고 있다.

#### 4. 함정 소음 진동 감소 기술

앞에서 소음 진동에 의한 수중 방사소음을 해석하는 방법에 대하여 언급하였으며, 여기서는 수중 방사소음 감소 기술로의 소음 진동 감소 기술중 함정에서 이용되고 있는 대표적인 몇 가지 감소기술을 소개하고자 한다. 함정에서 소음 진동 감소 기술로 가장 보편적으로 이용되고 있는 방법은 탄성 마운트(resilient mount)를 이용한 기계류 진동의 선체 전달을 감소시키는 방법으로 단순 탄성 마운트(single resilient mount), 이중 탄성 마운트(double resilient mount)가 있으며, 여러 장비를 함께 설치하여 소음을 차단하는 시스템으로 래프트(raft) 시스템이 있다. 이러한 진동 차단 시스템은 함정에서 요구되는 수중 방사소음의 수준을 만족하기 위하여 탑재되는 장비의 진동이 선체로 전달되는 양의 감소가 필요한 정도에 따라 채택하며, 현재 대부분의 대 잠수함 전을 수행하는 함정이나, 잠수함에서는 주요 추진계통 장비 설치에 탄성 마운트를 적용하고 있으며, 잠수함의 경우 대형 래프트 시스템을 탑재하여 소음 진동을 감소시키고 있다. 그림 6은 이중 탄성마운트 시스템 해

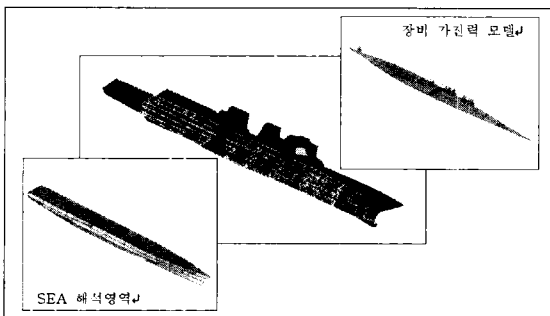


그림 5 함정 수중 방사소음 해석 모델 예(AutoSEA)

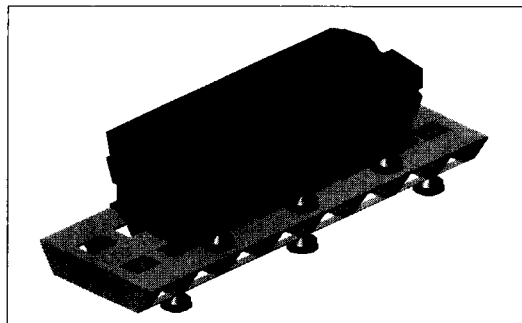


그림 6 이중 탄성마운트 시스템 모델

석 모델을 보여주고 있으며, 그림 7은 진동 차단 성능 해석을 위한 여러 가지 해석 방법중 MSC/ NASTRAN을 이용한 해석 모델과 여러 가지 방법으로 해석한 결과를 그림 8에서 보여주고 있다.

일반적인 해석에서 탄성 마운트에 의한 진동 차단 수준은 주파수가 증가되면서 함께 증가되지만 실제 마운트의 경우, 마운트 내부에서 탄성피의 내부 공진 등에 의하여 일정 주파수 이상에서는 차단 성능이 일정한 값으로 수렴하는 특성을 가지게 된다. 그러므로 실제 진동 차단 구조의 성능을 해석하기 위해서는 마운트의 주파수에 따른 특성을 정확히 파악해야하나, 현재 마운트 제조사에서 제공되는 값은 단지 마운트의 정적 강성만이

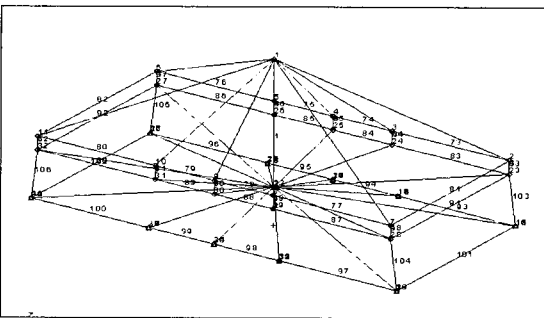


그림 7 이중 탄성마운트 시스템의 유한 요소 모델

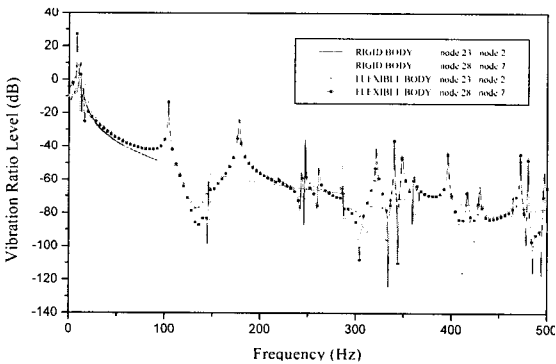


그림 8 강체 모델링과 탄성체 모델로 해석한 이중 탄성마운트 시스템의 진동 차단 수준 비교

주어지므로 실제 시스템의 특성을 알기 위해서는 마운트의 동적 강성을 파악해야만 한다. 국방과학연구소에서는 이러한 마운트의 동적 강성을 실험을 통하여 구할 수 있는 마운트 특성 시험장치를 설계/제작하여 이용하고 있다. 그림 9는 현재 운용중인 마운트 특성 시험장치를 보여주고 있다.

엔진과 같은 고소음원의 장비는 마운트 시스템을 이용하여 진동을 효과적으로 차단하여, 진동원에 의한 수중 방사소음을 감소시킬 수 있으나, 공기음(airborne noise)에 의한 소음화를 감소시키기 위해서는 보다 적극적인 방법이 필요하다. 이러한 고소음원의 소음에 의한 기여를 감소시키기 위하여, 음향차단 패널과 음향차폐장치(acoustic enclosure)가 있으며, 이를 설계하여 설치하면 수중 방사소음 뿐만 아니라 함정에서 근무하는 승조원의 안락성은 크게 개선될 수 있다. 그림 10은 국방과학연구소에서 보유하고 있는 기술을 바탕으로 설계/제작된 디젤 엔진 발전기의 음향차폐장치를 보여주고 있다. 현재 최근에 건조 운용되고 있는 대 잠수함 전을 수행하는 함정의

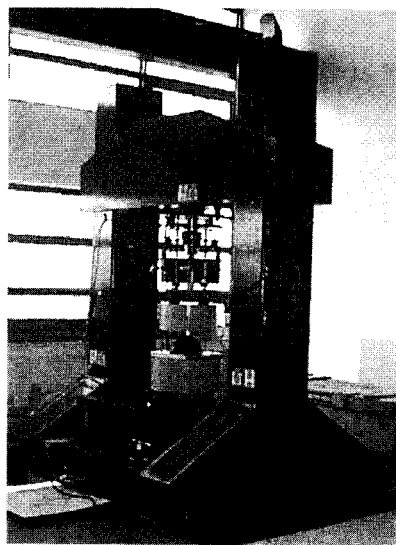


그림 9 마운트특성시험 장치

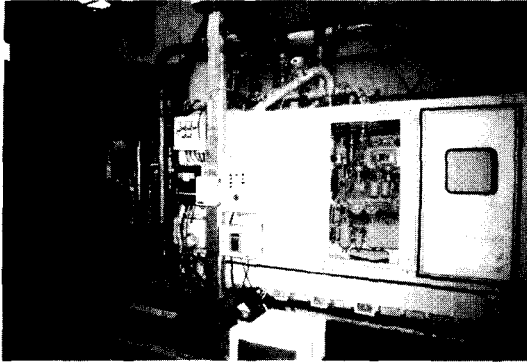


그림 10 음향차폐 장치가 설치된 디젤엔진 발전기

경우, 발전기 및 추진 엔진에 대하여 음향차폐장치가 적용되고 있으며, 이로 인하여 수중 방사소음 수준이 상당히 낮아졌을 뿐만 아니라 함내 격실의 소음 수준 또한 낮아져 함정에 근무하는 승조원의 안락성도 향상되었다. 이러한 함정의 소음 진동 감소 기술은 주로 현재까지는 수동적인 제어 방법에 의존하고 있으나, 음향 스텔스라는 군사적 목적에서는 작전을 수행하면서 생존성 향상의 문제를 해결하기 위하여 능동 제어 기술의 접목을 위한 연구 개발이 여러 나라에서 활발히 진행되고 있다. 스마트 구조, ER유체(electro-rheological fluid) 등을 이용한 능동 마운트, MEMS 등을 이용한 음향 스텔스화를 위한 소음 진동 기술 연구가 진행되고 있다.

### 5. 맺음말

군사 기술에서 소음 진동 기술이 일반 상용 기술과 기본은 다르지 않으며, 단지 적용 분야가 무기체계라는 점에서 적용에서 요구되는 환경이 일반 기술과 매우 다르게 보일 수 있다. 하지만 요사이 민간 겸용이 가능한 기술을 발굴하고, 민간 기술의 활용을 증대해 가고 있다. 함정에서 7~80년대에서 소음 진동 기술은 거주 환경 측면에서 많이 다루어져 왔다면, 현대로 오면서 대 잠수함

전을 수행하는 수상함이나, 잠수함은 은밀성 확보를 위한 음향 스텔스 기술과 접목되어 관점이 상대에게 노출을 감소시키기 위한 노력으로 전환되어 첨단 소음 진동 기술을 개발하여 적용하는 단계로 발전되어 가고 있다. 여기서 군사기술의 소음 진동 기술 중 함정에서 이용되는 기술에 관하여 소개하였으며, 앞으로 민간 기술의 발전으로 보다 향상된 소음 진동 기술이 함정 설계에 이용될 수 있기를 기대한다. 국방과학연구소는 군사 기술과 관련된 소음 진동 해석 기술의 종합 및 미래 기술을 개발해 갈 계획이며, 또한 특화센터를 이용한 심층적인 기초 기술 연구와 학계와의 위탁 연구를 이용하여 지속적으로 소음 진동 기술을 발전시켜갈 계획이다.

### 참고 문헌

- (1) Stefanick, T., 1987, "Strategic Anti-submarine Warfare and Naval Strategy", Lexington Books.
- (2) MIL-STD-740-1, 2(1986)
- (3) 전재진, 정우진, 배수룡, 홍진숙, 1997, "함정의 수중 방사소음 예측", 한국음향학회 학술대회는 문집, 제 16 권 제 1 호, p. 93~98.
- (4) Ross, D., 1987, "Mechanics of Underwater Noise", Peninsular Publishing.
- (5) 류정수, 한승진, 전재진, 2002, "KDX-III 수중 방사소음 해석", ADD 기술보고서.
- (6) 전재진, 심태보, 2001, "Prediction of Ship Acoustic Signature by Vibrating Machinery using Transfer Function", Conference Proceeding of UDT2001 Hawaii.
- (7) 서종수, 전재진, 1992, "음향차폐구조 설계 연구", ADD 기술보고서.
- (8) 정우진, 1996, "공통베드의 FEM 모델링 연구", ADD 기술보고서.