

# 함정 음향 시험평가 기술 현황

김 종 철\* · 손 권 · 이 필 호

(국방과학연구소 제2 체계개발본부 해상시험장)

## 1. 머리말

함정에 있어서 수중 표적의 탐지나 식별, 피탐 위협으로부터 회피 등은 함정의 생존성과 직결되는 사항으로 방사소음을 최소화하는 함정 음향 스텔스가 중요한 요소이다. 함정의 음향분야 시험평가 결과는 신조함정의 기준 만족도 평가뿐만 아니라 음향식별 정보추출/DB구축, 소음통제 방안설정 및 피탐지 위협성 평가 등 전반적인 음향작전 능력 향상에 활용되고 있다.

국방과학연구소는 해상/수중 무기체계의 시험평가 능력 확보를 위하여 1990년 5월부터 1994년 12월까지 해상시험장을 건설하였다. 해상시험장에서는 해상/수중 무기체계에 대한 함정성능, 함상병기, 수중병기 및 수중음향 시험 등 4가지 분야에 대하여 시험평가를 수행하고 있으며, 무기체계 발전 추세에 맞추어 시험 능력을 지속적으로 보강하고 있다.

함정에 대한 소음 진동 및 수중 방사소음 시험 즉 음향시험분야는 해상시험장 건설과 병행하여 한국형구축함, 지원함 및 잠수함 등 해군의 신형 신조함정에 대한 인수시운전 및 작전성능시험 기간 중에 특수성능시험 항목으로 수행되어 왔으며,

해군이 확보 운용중인 함정에 대해서는 해군 해양전술정보단 주관 하에 음향측정사업의 일환으로 1995년 이후 매년 10~20척을 대상으로 시험평가를 수행한다. 신조함정에 대한 음향 시험평가는 설계 및 건조시의 평가기준을 적용하여 기준 만족도를 평가하며, 운용함정에 대해서는 함정에 대한 음향정보를 획득하여 함정 운용에 따른 작전성분추출과 최적 운용조건을 설정하기 위하여 수행되고 있다.

함정 방사소음은 복잡적이기 때문에 함정 건조 단계에서부터 종합적이고 체계적인 대책이 필요하며 함정의 운용에 있어서도 방사소음 저감을 위한 노력이 필수적이다. 이러한 함정의 정숙화를 위한 궁극적인 목표를 달성하는데 함정 음향 시험평가 관련 기술의 발전과 기여는 필수적이다.

## 2. 함정 음향 시험평가 개요

### 2.1 소음 진동 시험

신조함정에 대하여 실시하는 소음 진동 시험은 그림 1과 같이 소음시험과 진동시험으로 구분되고 각 세부시험의 목적에 따라 시험을 수행하고 있다. 함내소음 시험은 각 격실의 공기중 소음수준을 평가하여 승조원의 안락성을 도모하고 청각 손상을 방지하며 승조원 상호간의 통화방해 정도를 인지하여 임무수행에 지장이 없도록 하는 데 주된

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

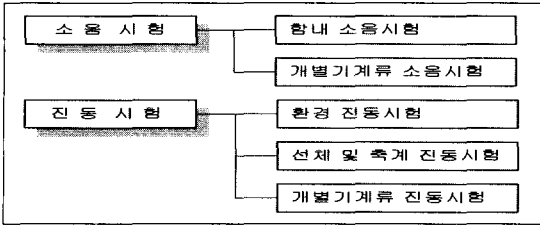


그림 1 소음 진동 시험의 종류

목적이 있다. 환경진동시험은 각 격실에 대한 승조원의 안락성 및 근무환경을 평가하기 위한 시험으로서 근무 및 거주 공간을 대상으로 측정한다. 선체 및 축계 진동시험은 엔진 모드별로 축회전수를 최저에서 최대까지 단계별로 증가시키면서 추진계통의 기진력에 의해 야기되는 선체 구조와 추진축계 진동을 측정하여 평가하고 속력변화에 따른 선체 및 축계의 진동변화량을 파악하여 위험주파수를 찾아내는데 목적이 있다.

또한 개별 기계류 탑재장비에 대해서는 정박중 또는 장비 제작사에서 소음 진동 시험을 실시하여 MIL-STD-740-1/2의 규정에 의한 개별기계류의 허용 수준을 사전에 평가하고 주요장비의 진동 특성 및 탄성마운트의 진동차단 성능 등을 주로 분석한다.

운용합정에 대해서는 정박중 및 기동중 시험을 수중 방사소음 시험과 병행하여 동시에 실시하고 있다. 정박중 탑재장비에 대한 진동 시험은 육상 전원을 이용하여 개별적으로 작동시키면서 각 장비의 고유한 진동특성과 진동수준을 측정 및 분석하며 그 결과는 소음 진동 및 수중 방사소음의 원인 해석과 감소방안을 제시하기 위한 기초 자료로 활용된다. 기동중 시험은 저속에서부터 최고속 구간까지 속력 단계별 증속시키면서 함내의 진동 수준을 측정 분석하여 수중 방사소음의 주요 기진원 분석을 위한 자료로 제공한다.

## 2.2 수중 방사소음 시험

수중 방사소음 시험은 합정에서 수중으로 방사

되는 방사소음을 측정하기 위한 시험으로 피시험 합정과 일정한 거리에 수중 청음기(hydrophone)를 설치하고 정박 또는 기동 상태에서 수행한다. 이 시험의 주요 목적은 첫째 합정 수중 방사소음의 절대음원준위(absolute source level)를 측정하고, 둘째 방사소음의 음향학적 특징들(acoustic signatures)을 추출하고 데이터 베이스로 구축하기 위함이다.

수중 방사소음의 절대음원준위가 높으면 다른 탐지체계에 의해 원거리에서도 쉽게 피탐지되므로 생존성이 위협받는다. 그러므로 수중 음향측정을 통해 자신의 수중 방사소음 절대음원준위를 사전에 파악하여야 하며, 만약 절대음원준위가 높으면 원인을 규명하여 방사소음 수준을 감소시켜야 한다.

수중 음향측정은 다수의 단일 수중 청음기나 선배열을 수직 또는 수평으로 설치하여 방사소음을 측정할 수 있다. 그러나 합정 건조기술의 발달로 잠수함의 방사소음은 점차 감소하고 있으나 연안의 수중 배경소음은 증가하는 추세이다. 그러므로 저소음 합정의 방사소음을 단일 센서를 이용하여 측정하는 것은 거의 불가능해지고 있다. 또한, 잠수함이 잠항 기동시 방사소음의 해표면 및 해저면 반사파 영향으로 잠수함 기동 중 방사소음이 왜곡되므로 선배열을 이용하여 표적으로 지향하는 빔을 형성하여 반사파의 영향을 최소화 시켜야 한다.

## 2.3. 음향 시험방법

### (1) 정박중 음향시험

정박중 음향시험은 시험 대상함에 탑재된 개별 장비들을 개별적으로 작동시키면서 발생하는 진동 및 수중 방사소음을 측정한다. 그림 2와 같이 합정을 정박시킨 상태에서 함내부에서는 진동을 측정하고 함외부에서는 수중 방사소음을 측정한다. 가속도계는 주로 작동되는 장비의 마운트 상·하부에 각각 설치되고, 수중 청음기는 수상함의 경우 5조가 설치되나, 잠수함과 같은 특수함에 대해

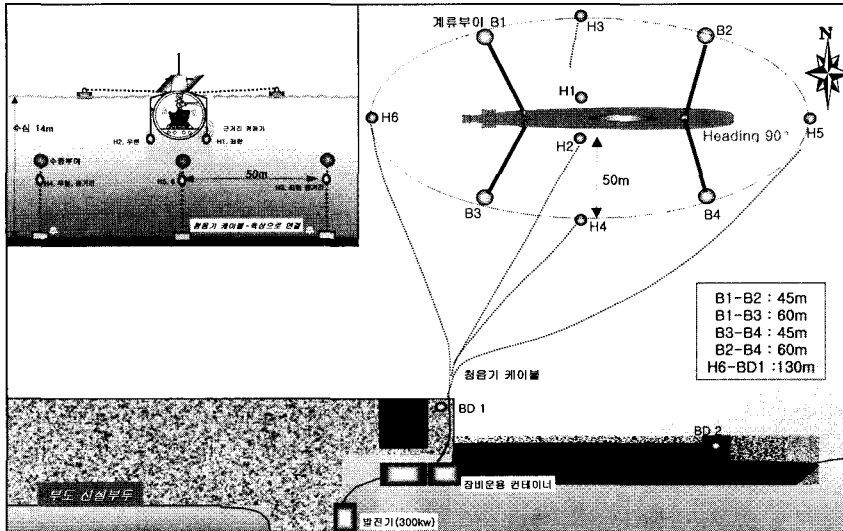


그림 2 잠수함 정박시험 개념

서는 추가 설치가 가능하며 일반적인 설치위치는 다음과 같다.

- 좌·우현 원거리 청음기 2조(고정) : 수심 7 m, 주기관실 현측 50 m 거리
- 근거리 청음기 2조(이동) : 늑골 수심, 장비 위치 외부현측 1 m 거리
- 소나돔 청음기 1조(고정) : 소나돔 수심 및 위치
- 잠수함의 경우에는 함미에 1조 추가 설치

측정 대상장비의 순수한 음향신호를 획득하기 위하여 함전원은 차단상태에서 대상장비에 소요되는 전원은 육상 발전기를 이용하여 공급한다. 또한 외부 통행선박에서 유입되는 소음을 감소시키기 위하여 수중 배경소음이 낮은 야간에 수행한다.

(2) 기동중 음향시험

함정 기동중 음향시험은 운항모드별로 최저~최고 속력 범위 내에서 lever position 10 단위로 증가시키며 측정한다. 마이크로폰은 함정내의 주요 격실에 설치되고, 가속도계는 주요 기진원이 되는 탑재장비, 추진축계와 선체 등에 설치된다. 수중 방사소음을 측정하기 위한 수중 청음기는 수중 방

사소음 준위가 상대적으로 높은 수상함을 측정하기 위해서 운용이 간단한 다수의 단일 청음기를 이용하고, 수중 방사소음 준위가 낮은 잠수함의 경우는 그림 3과 같이 지향이득을 얻을 수 있는 수직선 배열을 이용하여 수중 방사소음을 측정한다.

수직선 배열은 시험선에서 발생하는 소음의 영향을 최소화하기 위하여 약 200~500 m 이격하여 설치하며, 잠수함은 설치된 수직선 배열을 기준으로 최근접 거리(CPA) 약 100 m를 직선으로 통과하면서 신호를 획득한다. 수직선 배열을 이용한 잠수함 방사소음 측정에서는 수중에서 기동하는 잠수함이 수직선 배열을 최근접거리 100 m로 통과하기는 매우 어렵다. 이를 위하여 잠수함 내부에 함의 위치와 수직선 배열의 위치 및 거리, 방위를 실시간으로 전시하는 항해 보조장치가 운용된다.

2.4 음향신호 분석방법

신조함정인 경우 시험항목에 따라 제시된 평가 기준 적용이 가능한 형태로 출력되도록 분석한다.

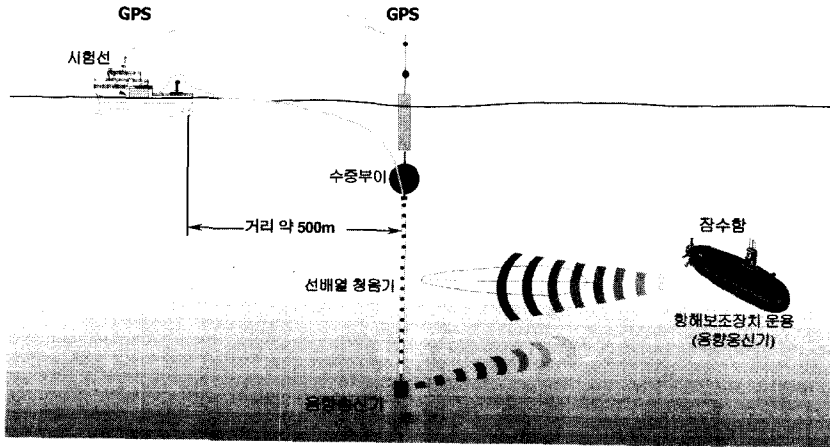


그림 3 잠수함 기동중 음향시험 개념

일반적으로 협대역 및 옥타브 광대역의 스펙트럼 형태로 분석하여 소음, 진동 및 수중 방사소음의 평가기준 만족 여부를 확인하고 있다.

운용함정에 대한 기동시험인 경우에는 주요 특성신호를 추출하고 해당 소음의 생성 원인, 하모닉 관계와 소음원 준위 등을 분석한다. 정박시험의 경우는 각 장비에서 생성되는 주요 음향신호의 주파수, 하모닉 관계 등을 확인하며, 기동중 소음원내의 기여 가능성 등에 대해 분석한다. 이러한 시험결과와 분석은 측정 해역에서 측정이 제대로 수행되는지는 모니터링하기 위한 실시간 측정 모드와 연구실에서 측정된 데이터를 재생하면서 정밀 분석하는 시험후 분석 모드로 구성되며, 소음 진동 측정 장비와 수중 방사소음 측정 장비에서 각각 수행된다.

실시간 측정모드에서는 각 센서의 상태와 채널별 신호 크기를 비교 분석하기 위한 센서 신호 모니터링과 시험해역의 음파전달특성 및 음파 전달 손실 등의 해양환경 분석과 표적 추적 등이 이루어진다.

연구실에서 수행되는 표 1과 같은 시험후 분석을 통하여 측정된 음향신호에 대한 다양한 정보들을 추출한다. 그림 4는 함정의 시험후 분석결과와

표 1 함정 음향신호의 시험후 분석 종류

분석 종류	목적	비고
광대역 분석	옥타브 신호의 절대 준위 분석	1/1, 1/3 옥타브
로파 (LOFAR)	신호의 톤널(tonal) 성분을 추출	
파워 스펙트럼 (PSD)	신호의 톤널 성분을 추출	절대 음원준위 분석
버니어 (vernier) 로파	신호의 톤널 성분을 추출	임의의 주파수 대역 선택
데몬 (DEMON)	프로펠러 및 엔진 정보 추출	변조신호 분석
빔 패턴 (beam pattern)	방사소음 분포도 분석	
천이 소음 분석	천이소음 신호특성 분석	스펙트로그램을 이용한 분석
케비테이션 분석	속도와 수심에 따른 케비테이션 발생 정보 추출	

에이며 최상단의 LOFAR 분석결과, 변조소음 분석결과 및 vernier LOFAR를 이용하여 함정의 작동장비 및 기동 특성을 파악할 수 있다. 수직선 배열 측정자료의 시험 후 분석은 녹음된 각 채널의 원신호를 재생시키면서 피시험함의 기동을 재추적하여, 표적을 지향하는 빔형성과 빔출력을 구하여 수행한다.

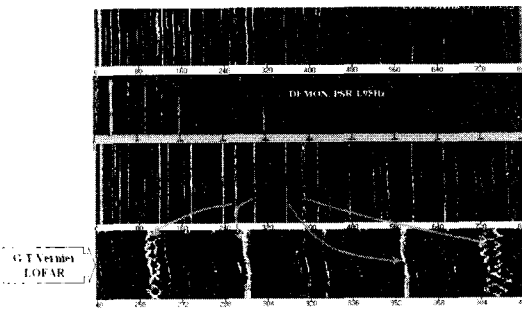


그림 4 음향신호의 시험후 분석결과(예)

### 3. 시험 측정 체계

#### 3.1 소음 진동 시험장비

함정의 소음 진동을 측정하기 위한 시험장비는 용도에 따라 정박용과 기동용 두 가지로 운용될 수 있도록 구성되었다. 정박용은 소량의 채널로 구성되어 휴대가 용이하며 측정현장에서 간이분석 능력을 보유하도록 하였으며, 기동용은 디지털 저장 방식으로 측정현장에서의 신호 모니터링이 가능하고 채널간 동기화가 되어 진동 소음의 각 채널의 신호가 동시에 측정될 수 있도록 구성되었으며 주요 사양은 표 2와 같다.

#### 3.2 수중 방사소음 시험장비

##### (1) 수상함용 방사소음 측정 체계

수상함의 기동 중 수중 방사소음과 잠수함 및 수상함 정박 중 수중 방사소음을 측정하기 위한 측정 체계의 세부 사양 및 능력은 다음과 같다.

- 최소 5채널의 수중 음향 동시 측정/분석/모니터링 기능
- 측정 체계 표류방식 운용, 수중 센서부 저유체 저항 및 유체소음 방지설계
- 측정센서 : 감도 -185dB 이상, 측정 주파수 0~80 kHz, 등방성
- 대상체계 위치, 거리, 속도, 침로 GPS 추적기능

표 2 소음 진동 시험장비의 주요사양

구 분	항 목	주 요 성 능
Analog input	Number of channels	소음 진동 각 60 채널
	Anti-alias filter	Primary analog 3 poles
	Dynamic range	80 dB
	Sensor power supply	4mA, 24VDC Programmable ON/OFF
Amplifier	Gain	1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 programmable
	Accuracy	±0.36 %
Aquisition	A/D converter resolution	16 bits, Sigma-Delta
	Maximum sampling rate	51.2 kHz/channel

- 협대역, 광대역, 저주파(LOFAR), 변조소음(DEMON), 천이소음 분석
- 기록/저장요소 : 원음자료, 시간, 추적정보, 환경자료, 음성정보
- 녹음/분석부 : 실시간 전 채널 ADC/분석/전시
- 수증부 : 원치 winding 방식, 개별 센서 교체 방식

##### (2) 잠수함용 수직선 배열 측정 체계

수직선 배열 측정 체계는 센서 배열을 이용하여 기동하는 저소음 표적에 대해 빔을 지향하여 방사소음을 측정한다. 이 체계는 저소음 함정의 방사소음을 측정하기 위한 것으로 그림 5와 같이 크게 수증부, 선상부 및 항해 보조장치부로 구성된다.

수증부는 측정용 선배열과 선배열의 상태를 모니터링하기 위한 비음향 센서가 설치된 비음향 센서 모듈 및 선배열의 위치와 추적을 위한 신호를 송신하는 음향송신기로 구성된다. 수직선 배열은 피측정함의 방사소음을 측정 주파수대역에서 동일한 지향이득으로 측정할 수 있도록 비선형 센서 배열로 설계하였다. 비선형 센서 배열은 센서 간격이 동일한 선형 센서 배열에 비하여 더 적은 센서의 수로 동일한 지향이득을 얻을 수 있으며 육

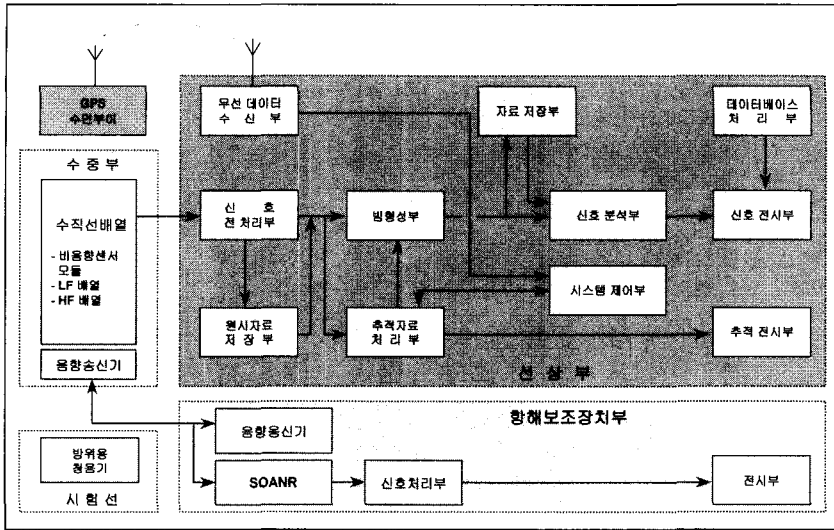


그림 5 선상부 신호 처리 개념도

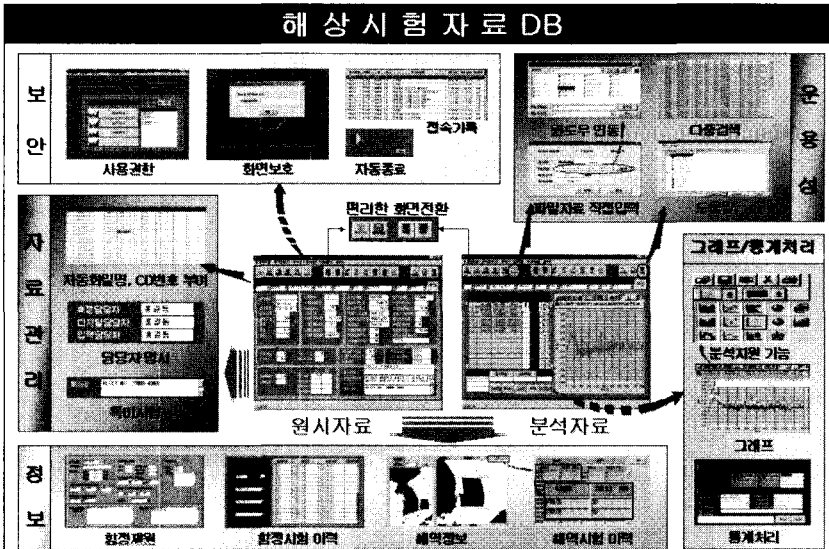


그림 6 시험자료 데이터 베이스 구성도

타브 대역내 최저 주파수에서도 동일한 지향이득이 유지된다.

선상부는 측정된 신호를 분석, 전시, 저장하기 위한 전산기 시스템과 수중부에서 측정된 아날로그 신호를 디지털로 변환하여 전산기 시스템에 보내주는 신호 전처리(FEC)부와 거리 측정을 위한

위치추적 장치로 구성되어 있다.

또한 향해 보조장치는 피시험함이 최근접 거리로 안전하게 주행하도록 이동하는 함정을 기준으로 수직선 배열의 거리 및 방위를 실시간으로 추적하고 전시한다. 이 장치는 수직선 배열의 최하단에 설치되어 동기된 시각에 음향을 송신하는 음

향송신기의 신호를 소나로 수신하고 소나에서 추적한 표적의 방위를 받아 수직선 배열의 거리 및 방위를 산출하는 방식이다.

4. 시험결과의 활용

함정 음향 특성관련 시험결과의 원시 및 분석자료는 그림 6의 구성도와 같이 데이터 베이스 자료로 구축되고 있다. 운용함정의 경우 취역 단계에서부터 퇴역시까지 수명 주기 동안 주기적으로 시험을 수행하고 획득된 자료를 데이터 베이스에 의해 심층 비교 분석함으로써 함정의 노후화 정도 및 진행속도를 가늠하고 추진기관의 성능과 함께 함정의 퇴역시기를 결정할 수 있는 자료로 활용될 수 있다. 또한 이러한 자료는 차기 함정 설계시 수명주기 동안의 성능변화 예측 및 수명주기 산정을 가능하게 할 뿐만 아니라 데이터 베이스에 수록된 과거 자료와의 비교에 의해 함정의 이상 소음원을 발견하여 이를 해소시킬 수 있으며 함정의 피탐지 확률을 낮추는데 활용되고 있다.

또한 음향시험의 분석된 결과는 해군에 제공되어 피아식별의 진술 음향정보로 활용 중에 있으며 전반적인 음향작전능력 향상에 기여하고 있다. 기동속력에 따른 전반적인 소음 변화나 문제 소음원의 발생원인과 특성을 분석 제공함으로써 소음통제 방안 설정, 피탐 위험성 평가 및 정비/보수 요소 도출 등의 작전 및 정비 분야에 직접적으로 활용되고 있으며, 무기체계 개발 사업과 관련하여 탐지/피탐지 성능 예측, 함정자체 소음의 영향성 평가 및 탐지센서 성능의 사양 결정 등에 기본자료로 활용되고 있다.

5. 음향 시험평가기술 발전추세

함정 개발과정 중에 다양한 음향 정숙화 설계기법이 적용되어 함정은 점점 저소음화 되고 있다.

시험평가 분야에서는 이러한 저소음 함정의 수중 방사소음을 정밀 측정하기 위한 기술개발이 요구된다.

음향의 탐지 및 방사소음 수준 평가는 원거리에서 이루어지나 함정의 저소음화 및 해양환경 요인에 의하여 원거리 측정은 한계가 있기 마련이다. 이를 극복하기 위하여 근거리 음장 측정기법을 이용한 원거리 음장에서의 방사소음 수준 예측에 관한 연구가 진행되고 있다. 방사소음을 측정하는 센서 분야에 있어서는 소음이 방사되는 위치별 소음수준의 규명을 위하여 아주 좁은 빔(pencil beam)의 형성이 필요하다. 펜슬 빔의 형성 방법은 센서를 원통형과 같이 입체적으로 배열하는 방법과 평면 배열하는 방법 등이 연구되고 있다. 입체 배열인 경우 곡률을 보상하는 배열기법, 넓은 주파수 범위에 균일한 빔 특성을 갖는 기하학적 배열 기법의 적용 연구 및 해상상태에 의한 배열체의 회전을 보상하는 실시간 추적 및 빔 지향기법의 연구가 진행되고 있다. 또한 천해 환경에서 수중 방사소음 측정을 위한 음파전달 손실특성에 대한 연구와 항만을 출입항하는 함정을 대상으로 상시 방사소음 측정이 가능한 고정형 실시간 음향정보 측정 체계 등이 연구되고 있다.

소음 진동 측정 분야에 있어서는 함정 자체가 매우 다양한 기진원과 소음원을 보유한 진동계로서 함정 설계단계부터 소음 진동의 발생을 최소화 시키도록 다각적인 연구와 건조방법의 개선이 모색되어 왔다. 초기설계 단계부터 시험결과 데이터 베이스를 이용한 이론해석 및 예측연구 수행, 함정 탑재전 각 개별장비에 대한 엄격한 허용기준 설정 강화 등으로 소음 진동의 발생을 최소화시키고 있으며 함정의 정비 유지 관리 및 음향학적 특성변화의 사전 인식 등을 위해 실시간 이상 소음원 감시체계인 진동 모니터링 체계로 발전하고 있다. 또한 수중 방사소음의 근거리 음장 측정기법과 함내 설치된 센서를 이용하여 함정의 방사소음

위협도를 실시간으로 전시할 수 있는 방사소음 실시간 모니터링에 관한 연구가 진행되고 있다.

음향 관련 평가 기준은 함정의 스텔스와 관련된 직접적인 음향 목표치가 된다. 함정의 임무, 전장 환경을 분석을 통한 최소 요구 방사소음의 목표치 설정 연구가 필요하며 함정내의 소음 및 진동 평가기준과 종합적인 검토가 필요하다. 또한 장기적으로는 외국에서 무기체계 획득과정 중에 적용하고 있는 M&S(modelling and simulation)의 음향 시험평가분야 활용에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 6. 맺음말

미래의 전장환경이 복잡화, 광역화됨에 따라 은밀성과 탐지거리의 증대가 무기체계 개발에 있어서 무엇보다 중요하다. 이를 위하여 함정 음향 스텔스와 관련한 다양한 기법 등이 개발되고 있으며, 음향 시험평가 분야에 있어서는 시험결과의 신뢰성 증진을 위한 측정불확도 개선, 무기체계 발전추세를 고려한 시험기법의 개발 및 시험결과 체계적인 데이터 베이스 등이 요구되고 있다.

신조함정 및 운용함정에 대한 음향 시험평가를 통하여 분석된 결과는 해군에 제공되고 있으며, 시험자료의 데이터 베이스 및 시험평가 기법의 개발 등이 수행되고 있다. 음향 시험평가 기술은 중장기 목표를 설정하여 미래 무기체계 개발 및 해군 음향 작전능력의 향상에 기여할 수 있도록 지속적으로 발전될 것이다.

### 참고 문헌

- (1) 박의동 외, 2002, "해상시험장 현황 및 발전 방향 종합보고서", 국방과학연구소 기술보고서.
- (2) 염시환, 2000, "함정음향측정 및 음향측정자료 관리체계", 국방과학연구소 제 3 회 해상무기체계발전세미나 논문집.
- (3) NAVSEA, 1989, "Ship Post-delivery Tests and Trials Guidance Manual", NAVSEA 0900-LP-095-3010.
- (4) 이필호 외, 1995, "함정음향시험절차서", 국방과학연구소 기술보고서.
- (5) 김종철, 김상현, 1997, "진동소음시험체계 구성설계 연구", 국방과학연구소 기술보고서.
- (6) 도경철, 손권, 1999, "수중음향측정을 위한 수직선 배열 설계 개념연구", 국방과학연구소 기술보고서.
- (7) 도경철 외, 2000, "협대역 수중음향측정을 위한 신뢰도 기반의 측정정확도 분석", 한국음향학회지, 제 19 권 제 4 호, pp. 93~97.
- (8) Long, D. and Rafine, B., 1991, "Trends in Acoustic Range Design due to Improved Science of Modern Submarine", Conference Proceedings of Undersea Defense Technology, Paris.
- (9) Boxoen, T., Garnier, B. and Webster, D., 2001, "Implementing a Conditional Maintenance Policy for Maintaining Acoustic Stealth : A Class Approach Form Industry", UDT HAWAII 2001-Conference Proceedings.