

# M&S 기반 함정음향 시험평가 개념

## A Concept on the M&S-based T&E for Ship Acoustics

조창봉\*

Chang Bong, Cho

### ABSTRACT

Recently, ship acoustics takes more important role in acoustic stealth and classification of underwater targets. In this paper, a theoretical concept is proposed for M&S-based test and evaluation of ship acoustics. The concept is based on two different approaches: on Top-Down method which emphasizes the survivability of the ship and on Bottom-Up method which considers acoustic characteristics of the ship-equipments. In order to improve the effectiveness of M&S-based T&E for ship acoustics, it is recommended in this paper to compromise the two approaches as adequate.

주요기술용어 : M&S(모델링 및 시뮬레이션), Ship Acoustics(함정음향), Radiated Noise(방사소음), Noise Reduction(소음 감소), Acoustic stealth(음향 정숙화), T&E(Test and Evaluation; 시험평가)

### 1. 서론

함정음향(Ship Acoustic)은 함정이 기동하면서 발생시키는 각종 진동과 소음을 통칭한다. 진동에 의해 야기되는 공기 중 소음과 구조 소음 및 유체소음 등이 추진기 소음과 함께 수중방사소음(Underwater Radiated Noise)을 형성하여 수중으로 전파된다. 그리고 소나자체소음은 진동과 소음이 음향탐지기에 미치게 되는 부정적인 영향을 의미한다.

잠수함의 경우 수중방사소음은 자신의 존재와 위치를 노출시키는 결정적 단서를 위협세력에게 제공한다.

따라서 함정음향을 최대한 감소시키기 위하여 은밀 또는 정숙 개념의 설계기법들이 개발 적용되고 있다. 그러나 함정의 임무 수행을 위해 탑재하는 장비들과 프로펠러를 작동하면서 발생하는 함정음향의 감소는 아무리 노력하더라도 물리적으로 한계가 있을 수밖에 없다. 만일 함정음향이 높으면 위협세력에 쉽게 노출되어 공격을 당할 위험성이 커지며, 함정음향에 의한 소나자체소음이 소나 탐지를 방해할 정도로 높은 경우 위협세력에 대한 탐지가 어려워진다. 이와 같이 탐지와 피탐지 측면에서 함정 생존성과 직결된 함정음향은 설계 및 시험평가 요소 가운데 가장 중요한 항목으로 취급된다.

함정음향에 대한 시험평가는 여러 가지 방법으로

\* 국방과학연구소 연구원

수행된다. 시험평가 절차로서는, 함정건조 기본설계 결과에 대하여 자료에 의해 시험평가를 수행하고, 인수시운전 및 전력화 평가 단계에서는 실제 측정하여 분석된 결과로서 평가한다. 항목으로는 특수성능 분야의 진동, 소음, 음향특성으로 구분하여 시험하고, 잠수함의 경우 캐비테이션 시험을 추가로 수행한다. 음향탐지기는 장비성능 분야의 통신·전자장비로 분류하여 시험한다. 뿐만 아니라 성분작전 분야에서 대잠전 시험을 통하여 종합적인 함정음향의 영향을 분석한다<sup>[1,2]</sup>.

그러나 함정음향 구성요소들과 전반적인 음향특성과의 상관관계를 정밀 분석함은 쉽지 않다. 특히 함정음향에 대한 관심이 높아지고 다양한 종류의 음향탐지기를 개발 운용하면서 함정음향의 목표 수준을 계속 낮추고 있는 추세이다. 이는, 설계와 건조 시에 많은 노력을 기울여 음향스텔스 기법을 적용하더라도 인수시운전 또는 전력화 평가에서의 실측 결과가 목표치를 만족시키지 못할 위험성이 높아지고 있음을 의미한다. 결과적으로 함정음향은, 건조된 신조함정의 인도 여부에까지 영향을 미칠 수 있는 주요 요인이 된다.

그러므로 함정음향의 목표치 설계와 시험평가는 매우 신중하게 수행되어야 하며, 함정 설계에서부터 건조에 이르기까지 과학적인 접근 방법을 통하여 함정음향을 통제할 필요가 있다. 이와 같은 관점에서, 함정음향의 목표치 설정 및 기본설계에 대한 시험평가의 정확도와 신뢰성 제고를 위한 과학적 기법과 제도가 요구된다. 그러므로 본 논문에서는 이를 위한 하나의 방안으로, 국방M&S(Modeling and Simulation)<sup>[3,4]</sup>를 도입·적용한다. 탐지 및 피탐지 측면과 함정장비 특성을 고려한 M&S 모델에 의해 목표치를 설계하고, 이를 활용하여 자료에 의한 시험평

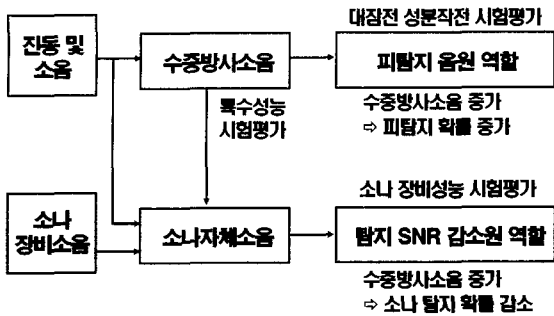
가를 수행하는 방안을 제시한다.

## 2. 함정음향 시험평가

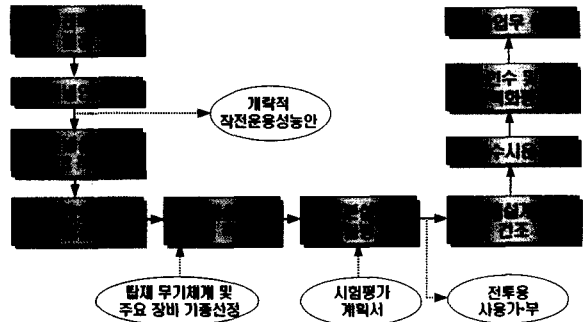
함정음향은 진동과 소음이 주요 원인이다. 발전기와 펌프 등의 탑재장비와 선체·축계의 떨림 현상에 의한 진동은 다양한 형태로 소음을 발생시킨다. 함정 소음의 주요 원인(Noise Source)은 공기 중 소음(Airborne Noise), 구조소음(Structure-borne Noise), 유체소음(Fluid-borne Noise) 및 추진기 소음 등이다. 추진기 소음은 엔진과 감속기어 및 프로펠러에 의해 생성된다. 공기 중 소음과 구조소음은 선체를 투과하거나 선체를 진동시켜 수중으로 소음을 발생시킨다<sup>[5]</sup>. 이 소음들과 저주파수의 유체소음, 그리고 추진기에 의한 소음이 합쳐져서 수중으로 전달되어 퍼져나갈 때 이를 수중방사소음이라 통칭한다. 그리고 이와 같은 진동과 소음들이 소나센서에 유입되어 소나의 전기적·기계적 자체소음과 합쳐지면 소나자체소음(Sonar Self-Noise)이 된다.

그림 1은 함정음향이 탐지와 피탐지에 미치는 영향을 나타낸다. 수중방사소음은 위협세력의 소나가 아군 함정을 탐지하는 결정적인 단서가 된다. 수중방사소음은 피탐지 소나방정식(Sonar Equation)에서 음원준위(Source Level, SL) 역할을 하여 피탐지 확률을 증대시킨다. 이는 원거리에서도 적에게 쉽게 노출됨을 뜻한다.

탐지 측면에서, 수중방사소음은 소나자체소음을 높이는데 기여한다. 그러므로 수중방사소음은 소나가 위협세력을 탐지하기 위한 신호 대 잡음비 SNR(Signal-to-Noise Ratio)를 저하시키는 부정적 영향을 미치며, 근접하는 위협세력을 찾아내지 못하는 상



[그림 1] 함정음향이 탐지와 피탐지에 미치는 영향



[그림 2] 함정건조와 시험평가

황을 초래한다. 종합적으로, 수중방사소음은 위협세력에 의한 피탐지 음원과 위협세력에 대한 탐지를 방해하는 요인이 된다. 그러므로 함정 설계에서는 함정음향을 가능한 한 감소시켜야 하고, 수중방사소음의 원인이 되는 각종 진동 및 소음을 최대한 통제하여야 한다. 또한 엄격한 시험평가를 통하여 함정 생존과 직결된 함정음향을 정확하게 평가하여야 한다.

서론에서 언급한 바와 같이, 함정음향에 대한 시험평가는 국방획득관리 규정에 따라 수행된다. 그림 2에서와 같이<sup>6)</sup> 시제함과 양산함이 병행건조 되는 경우 시험평가는 기본설계 결과를 근거로 자료에 의해 이루어지며, 양산함이 건조되지 않는 경우에는 시제함 건조 후 운용시험평가가 이루어진다. 그러므로 국내 건조 함정에 대한 최초의 시험평가계획은 적어도 기본설계가 완료되거나 시제함이 건조된 후에 수립된다. 자료에 의한 시험평가를 받은 시제함이라 하더라도 실제 성능은 인수 시운전 기간에 실선시험으로 확인되고, 인수 시운전 완료 후 건조업체로부터 인수된 함정은 전력화평가를 거치게 된다.

자료에 의한 시험평가는 특수성능, 성분작전, 장비성능 분야로 구분하여 수행한다. 특수성능 분야에서는 진동, 소음, 음향특성으로 구분 시험하고, 잠수함의 경우 캐비테이션 시험을 추가로 수행한다. 음향탐지기는

장비성능 분야의 통신·전자장비로 분류하여 시험하며, 성분작전 분야에서 대잠전 시험을 통하여 종합적인 함정음향의 영향을 분석한다. 인수 시운전에서는 특수성능 및 장비성능 분야 중심으로 해상에서 실측 시험을 수행한다.

실측시험에서 음향특성은 정박시험과 기동시험으로 구분하여 수행한다. 정박시험에서는 개별 탑재장비와 선체 및 축계의 미세한 영향을 파악하고, 기동시험에서는 추진계통을 포함한 전반적인 음향을 측정한다. 신조함정의 정박 음향시험은 전력화 평가 기간 동안 이루어진다. 진동과 소음 및 음향특성의 상관관계를 분석할 목적으로 음향특성시험은 동시에 수행됨이 일반적이다.

### 3. 함정음향모델 설계

M&S 기반의 함정음향 시험평가는 실측시험이 아니므로 인수를 위한 운용시험평가 개념으로 적용하기가 어렵다. 따라서 기본설계 결과에 대한 시험평가 시에 자료에 의한 시험평가로 M&S 기반 함정음향 시험평가가 수행될 수 있다<sup>7,8,9)</sup>.

### 3.1 M&S 기반 함정음향 시험평가를 위한 모델 설계 개념

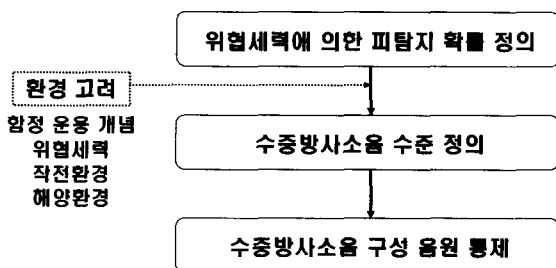
함정음향 시험평가에 대한 M&S 적용은 크게 두 가지 관점에서 고려된다. 첫째는, 함정 건조 설계 및 시험평가를 위한 함정음향 목표치 설정이며, 둘째는, M&S 모델에 의한 시험평가 수행이다. 목표치 설정은 그림 1의 탐지 및 피탐지 개념으로 접근되어야 하며, 이를 위한 함정음향모델이 개발되어야 한다. 그리고 함정음향모델은 표준화된 환경 하에서 시험평가에도 적용 가능하도록 개발됨이 바람직하다. 함정음향모델은, 위협세력에 의한 피탐지 확률을 고려한 TD(Top-Down) 방식과 개별 장비 및 추진기 소음 분석에 의한 구현 가능성을 고려한 BU(Bottom-Up) 방식으로 설계된다. 이와 같은 TD 및 BU 방식은 공학적 가상 현실 시스템과 분산 시뮬레이션 시스템 등 기존의 M&S와 가상현실 분야에서 모델링 및 시스템 설계를 위하여 적용하던 방식으로서, 본 연구에서는 이를 음향학적 모델링에 적용하고자 한다<sup>[10]</sup>.

피탐지 측면에서 함정음향을 모델링 하는 개념은, 함정음향의 총체적인 에너지부터 먼저 제한한다는 의미에서 그림 3의 TD 기법의 모델 설계에 해당하며, 임무 수행에 영향을 받지 않는 피탐지 확률 목표치를 최종 성능으로 간주하여 함정음향 모델을 설계한다. TD 방식에서는 함정 생존을 가장 최우선으로 고려함

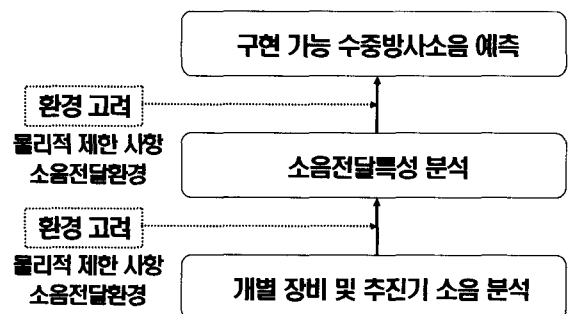
에 따라 보다 엄격한 제한 요구들이 적용되므로, 목적하는 음향 감소를 강화하는 방향으로 설계가 이루어지게 된다. 따라서 TD 방식 설계는 함정음향 목표치 설계로서의 의미가 강하다.

구현 가능 함정음향 예측 측면에서 함정음향을 모델링 하는 개념은, 함정음향을 구성하는 각 요소들에 대한 모델을 설계하고, 그 결과를 종합적으로 분석하여 총체적인 함정음향 목표치 또는 구현 가능치를 예측한다. 이와 같은 의미에서 그림 4의 BU 기법에 해당한다. BU 설계 방식에서는 각 구성 요소들의 물리적 제한점들을 신중하게 고려하여 설계하고, 장비로부터 전체를 경유하여 수중으로 전파되기까지의 소음 전달특성을 설계에 중요하게 반영한다. 그러므로 BU 설계 방식에서는 총체적인 함정음향 에너지에 중점을 두기보다는 구성 모델들의 실제 특성과 모델의 구현 가능성에 중점을 두게 된다. 이는, 함정음향 시험평가를 위해서는 BU 방식에 의한 모델이 적용되어야 함을 의미한다.

M&S에서의 일반적인 경우와 마찬가지로, 함정음향 모델 설계에서도 BU 방식과 TD 방식에 의한 모델 설계 결과는 합리적인 수준에서 상호 절충되어야 한다. 일반적으로 TD 방식이 총체적인 함정음향 에너지의 감소 방향으로 설계되는데 반하여, BU 방식에서는



[그림 3] Top-Down 함정음향 모델링 개념



[그림 4] Bottom-Up 함정음향 모델링 개념

구성 요소들의 현실적인 특성을 우선적으로 고려함으로써 총체적인 합정음향 에너지가 증가할 소지가 있기 때문이다.

### 3.2 피탐지 측면에서 합정음향모델 설계

합정 설계에서 TD방식은 합정의 임무 수행과 생존성을 주요 목적으로 적용되는 방식이다. 그러므로 본 연구에서는 음향학적 관점에서 합정의 생존성에 가장 큰 영향을 주는 피탐지 지수를 TD 방식으로 모델링 함으로서 합정음향의 목표치 설계와 시험평가 기준을 설정한다.

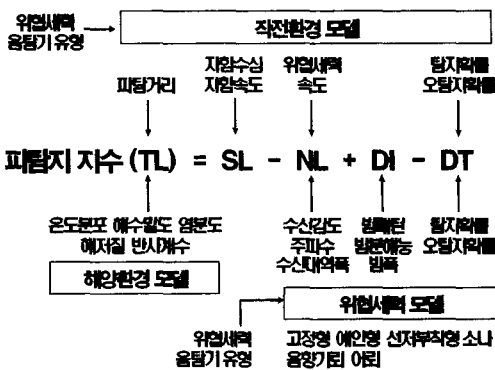
합정음향은 음향학적으로 위협세력의 소나에 대한 음원준위에 해당한다. 그러므로 위협세력의 수동소나와 작전환경 및 해양환경에서 위협세력에 의해 탐지될 확률과 거리를 소나방정식에 의해 산출할 수 있다. 합정음향 설계 목표치를 설정하기 위하여 위협세력 모델, 해양환경 모델, 작전환경 모델 등이 포함된다.

위협세력의 대표적인 모델은 위협세력이 운용하는 소나이다. 수동형 소나는 운용주파수와 주파수 대역폭, 수신감도, 지향지수, 그리고 탐지가능 최소 SNR에 의해 모델링 한다. 탐지가능 최소 SNR 모델링을 위해서는 탐지확률과 오탐지 확률을 먼저 설정한다. 소나

에 따라서는 수신 빔 패턴과 분해능도 모델링 되어야 하는 주요 변수이며, 위협세력 소나의 자체소음준위 역시 소나방정식을 풀기 위해 반드시 모델링 되어야 한다. 해양환경 모델은 수중음속분포에 따른 음파전달 특성 모델이다. 해양환경 모델에 포함되는 변수로는 수심에 따른 수온분포, 해수 밀도, 염분, 해저 저질 또는 해저 반사계수 등이다. 대부분의 모델은 음파전달 손실로부터 소나 탐지거리가 직접 계산되기도 한다. 해양환경 모델은 몇 가지의 표준으로 해양환경을 모델링 함으로써, 동일 환경에서의 수중방사소음 준위를 상대적으로 비교할 수 있다. 작전환경 모델은 자함의 기동과 위협세력과의 조우 환경에 대한 모델이다. 자함의 기동속도, 위협세력 유형과 수심 등이 모델링을 위한 주요 변수가 된다. 수중방사소음 목표치 설계와 기본설계 결과 평가를 위해서는 자함 속도에 따른 피탐지 확률과 거리를 미리 설정한다.

이와 같은 모델과 변수들을 근거로, 수중방사소음 목표치는 수동형 소나 방정식에 의해 구해진다. 소나 방정식을 이용하는 모델은 첫째, 위협세력 소나를 정확하게 모델링하여야 하고, 둘째, 넓은 주파수 대역에 걸쳐 수중방사소음 목표치를 설정하기 위해 위협세력 소나의 주파수 대역을 넓게 예상하여야 하며, 셋째, 추진기와 캐비테이션 및 일반적인 토널 성분들을 사전에 고려하되 캐비테이션은 알려진 자료와 수학적 모델링에 의해 별도로 예측한 다음 소나방정식의 결과에 이를 반영한다.

피탐지 지수를 모델링하기 위한 각 요소들에 대한 모델 개발이 완료되면, 각 성분 모델들을 연동하여 피탐지 지수를 계산하는 모델링이 이루어진다. 그림 5에서 보는 바와 같이 자함의 수심과 속도 등이 주로 영향을 주는 자함의 음원준위(Source Level, SL)가 큰 값으로 계산되면 피탐지 확률이 증가하여 자함의 생



[그림 5] 피탐지 측면에서의 모델과 변수

존성이 저하되고, 위협세력의 소나 성능의 감소는 피탐지 지수를 감소시켜 자함의 생존율이 높아진다. 작전환경 모델, 위협세력의 모델과 더불어 자함 또는 위협세력의 소나 성능에 영향을 주는 주요 요소로서의 해양환경 모델링은 모델링과 시뮬레이션이 이루어지는 수중환경이 음탐환경에 미치는 영향을 모델링하는 것이다. 보다 정확한 음장을 계산해서 제공함으로써 모델링과 시뮬레이션의 신뢰도를 높이고 적절한 시험 평가를 가능하게 한다. 특히 거리종속형 음향 모델의 경우는 해양환경에 의한 영향이 매우 크게 나타나며, 실제 운용중인 소나의 성능을 좌우하는 주요 요소이기도하다.

위협세력 소나를 임의 표준으로 설정한 상황에서는 피탐지 측면에서 목표치를 설정하는 모델의 구성과 시뮬레이션은 비교적 용이하다. 이 모델은 함정 임부 분석에 따른 함정음향 목표치 설정에 유용할 뿐만 아니라, 임무효과도 측면에서의 함정음향 시험평가에도 유용하다.

### 3.3 탑재장비 및 추진기 특성에 의한 함정 음향모델 설계

BU 방식은 함정 건조과정에서의 물리적 구현 방법에 중점을 준다. 탑재 장비 및 추진기 특성에 의한 목표치 설정 방식은, 모든 탑재장비의 진동 및 소음 특성을 미리 확인하고, 탑재장비의 음향전달특성을 적용함으로써 함정음향을 BU 방식으로 산출한다. 탑재장비의 특성과 탑재장비가 함정음향에 미치는 영향은 사전에 데이터베이스로 구축해 놓아야 한다.

BU 방식 함정음향모델은 탑재장비 모델, 추진기 모델, 장비탑재장치 모델, 진동/소음 전달특성 모델 등으로 구성된다. 음향학적 관점에서 이와 같은 모델로 구성하는 이유는 함정의 음향에 주요 요소로 작용하

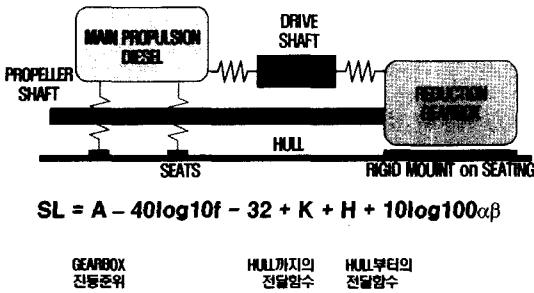
는 대표적 음원이 발전기와 추진기 계통의 장비, 모터와 펌프 및 공조기 등의 함정 탑재 보조기계류이며, 이들 장비들의 진동 및 소음이 마운트와 선체를 통하여 수중으로 전파되어 가는 전달특성을 고려하기 위해 마운트 특성과 전달특성을 모델링 한다. 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

먼저 탑재장비 모델은 탑재장비의 진동과 소음에 대한 스펙트럼을 모델링한다. 분당 회전수가 모델링의 주요 변수이다. 각 장비별로 분당 회전수 모델을 개발하여 사용할 수도 있으며 측정된 자료의 활용도 가능하다. 발전기와 엔진은 추진기 모델로 분류함이 타당하지만, 진동과 소음 면에서는 탑재장비 모델로 분류한다.

추진기 모델에는 엔진과 기어 및 프로펠러 등이 포함된다. 엔진 운용 모드와 기어 감속비가 모델링의 가장 중요한 변수가 된다. 장비탑재장치와 마찬가지로 측정된 자료를 이용하는 편이 간단하지만, 경우의 수가 너무 많으므로 각 추진기에 대한 모델을 개발하여 사용함이 바람직하다.

장비탑재장치 모델은 주로 진동을 흡수하거나 차단하는 장치이다. 장비 제원에 따른 진동 감쇄 계수와 효율 등이 주요 변수이다. 실험실에서의 측정 자료를 이용하는 편이 간단하지만, 다양한 형상과 사용 방법에 대한 경우의 수가 너무 많으므로 모델을 개발하여 사용함이 권장된다. 이러한 모델들은 기계공학적으로 다양하게 개발되어 있으나, 필요에 따라 진동과 진동 차단계수 및 효율을 기구적으로 모델링하고 실험에 의해 확인한다.

탑재장비와 장비탑재장치 및 추진기 모델이 개발되었다 하더라도, 이들이 발생시키는 진동이 선체 밖으로 전달되기까지의 경로와 선체 밖으로 퍼져나가는 음향특성을 알지 못하면 수중방사소음을 예측하거나



[그림 6] 함정 추진부에 대한 Bottom-Up 함정음향 모델 설계 실례

평가할 수 없으므로 진동/소음 전달특성 모델이 적용된다. 이는 수식적으로 모델링 되기도 하지만, 복잡한 함내 구조를 고려하여 실측에 의해 모델을 보완한다. 그림 6은 함정 추진부에 대한 수중방사소음을 모델링하는 구체적인 예를 보여준다. 모델링 식에서 전달함수는 수식의 유도와 병행하여 실제 구조물에 의한 실험으로 검증하는 과정이 필요하다.

이와 같은 모델들을 조합하면 설계되는 함정의 장비탑재 현황과 장비탑재 상태에 따라 수중방사소음 준위를 BU 방식으로 예측 및 평가할 수 있다. 적용하는 모델들이 정확하다면, 이 방법이 위의 피탐지를 고려한 경우 보다 정확하고 직접적이다. 그러나 엄청난 실험과 많은 시제가 수반되어야 하므로 오랜 기간과 많은 예산이 필요하다.

#### 4. M&S 기반 함정음향 시험평가

##### 4.1 제한점과 유용성

M&S 기반 시험평가를 운용시험평가에 적용하기에는 현실적으로 많은 어려움이 있다. 모델의 정확도와 신뢰도가 무엇보다 중요하지만, 모델을 시뮬레이션하기 위한 입력 자료와 유관 정보 등의 타당성과 적절한

성을 입증하기가 쉽지 않기 때문이다. 그러므로 M&S 기반 함정음향 시험평가는, 기본설계에 대한 자료에 의한 시험평가로 적용 범위가 한정될 수 밖에 없다.

그럼에도 불구하고 M&S 기반의 함정음향 시험평가는 함정 건조 과정에서 반드시 적용되어야 하는 필수 요건이라 판단된다. 함정음향 모델은 함정 개념 설계와 기본 설계 과정에서 다양한 시뮬레이션을 통하여 음향 관련 사항을 통제하는 과학적 근거를 제공하며, 인수시운전의 운용시험평가를 성공적으로 수행하기 위한 사전 예측 자료들을 도출함으로써 목표치를 만족하는 함정이 건조되도록 기술적으로 지원할 수 있기 때문이다. 특히 대잠전과 같은 성분작전 평가 시에는 대항군을 현실세계에서 실제 동원하기가 불가능하므로 오히려 M&S 기반 시험평가를 통하여 보다 높은 신뢰도의 평가를 수행할 수 있다. 뿐만 아니라, 함정음향의 목표치 설정은 표준화된 함정음향모델을 이용함이 가장 객관적이라 판단된다.

실제 한국형 구축함에 BU와 TD 방식을 적용하여 설계 및 시험평가를 수행한 결과, 어떤 구성부분의 소음을 줄여야 되는지가 쉽게 식별되었으며, 이부분에 대한 감소 대책 수립이 용이하여 음향학적인 목표치 달성을 가능하게 하였다.

##### 4.2 M&S 기반 함정음향 시험평가 수행 개념

함정음향의 시험평가는 임무분석에 따른 목표치 설정에서부터 시작된다. 개념설계와 기본설계 및 함정 건조 과정에서는 모델 시뮬레이션을 통하여 설계를 최적화하고 소음을 통제함으로써 목표치를 만족하도록 공학적 자료를 제공한다. 이는 함정무기체계 개발의 기술시험으로 평가된다. 기본설계가 완료된 시제함에 대해서는 특수성능 및 성분작전 성능 분야의 공식 시험평가가 이루어진다. M&S 기반 시험평가는 이와

같은 시험평가 시안에 따라 모델 적용을 달리한다.

언급한 바와 같이 TD 방식의 모델은 피탐지 확률 감소와 함정 생존성 향상을 목적으로 하여 총체적인 함정음향 에너지의 감소 방향으로 설계되는 한편, BU 방식에서는 함정을 건조하는 구성 부체계들의 현실적 특성을 반영함으로써 총체적인 함정음향 에너지가 증가될 소지가 있다.

그러므로 함정음향 목표치 설정을 위해서는, BU와 TD 방식의 모델을 모두 사용하여 합리적인 수준에서 이들을 상호 절충시킨다. 실제 본 설계 개념을 대형상륙함에 적용시킨 결과 BU 방식의 목표치가 TD 방식의 목표치보다 십 dB 규모로 높게 설계되었고, 실제 음향 시험평가 목표치는 BU 방식과 TD 방식으로 각각 계산한 값의 절충값으로 설정한 바 있다.

개념설계와 기본설계 및 함정 건조 과정에서는 설계 최적화 및 소음 통제를 통한 목표치 만족이 최우선 과제이다. 그러므로 BU 방식 음향모델을 시뮬레이션 하여 설계 결과를 반복적으로 평가한다. 그리고 모델의 특성에 따라, 기본설계 결과에 대한 시험평가에서 음향특성 평가에는 BU 방식 음향모델을 적용하고 성분작전 평가에는 주로 TD 음향모델을 적용한다.

TD 방식 음향모델을 이용한 시험평가는 모델의 신뢰도와 정확도가 무엇보다 중요하며, 모델을 시뮬레이션하기 위한 전장환경과 교전환경 설정 또한 중요하다. TD 방식의 음향모델에는 다양한 음향전달손실 예측 모델이 포함되어야 하고, 이들 모델들은 충분한 검증 과정을 거쳐 신뢰성이 입증되어야 한다. 시뮬레이션을 위한 전장환경과 교전환경은 함정 개념 설계단계에서 사전 설정됨이 일반적이다. 위협세력의 전력, 피탐지 확률 및 거리, 수심과 수온 등의 물리적 환경, 위협세력과의 조우 조건 등의 변수에 의해 시뮬레이션 결과가 달라지므로, 함정의 임무에 따라 달라지는

성분작전의 효과도 지수를 산출하기 위한 TD 방식 모델의 시뮬레이션 시에는 함정 임무에 적합한 표준화된 환경을 설정함이 바람직하다.

BU 방식 음향모델을 이용한 시험평가 역시 모델의 신뢰도와 정확도가 무엇보다 중요하며, 모델을 시뮬레이션하기 위한 입력자료의 정확성 또한 중요하다. BU 방식의 음향모델에는 진동과 소음이 선체를 투과하는 과정에서의 전달함수 모델들이 충분한 검증 과정을 거쳐 신뢰성이 입증된 후에 적용되어야 한다. 시뮬레이션을 위한 입력자료는 대부분 장비 제작사 또는 조선소에서 제공한 자료를 활용하게 되므로, 자료에 대한 사전 검토를 면밀하게 수행하여 올바른 입력자료를 확보함으로써 시뮬레이션 결과가 부정확해짐을 방지하여야 한다.

#### 4.3 M&S 기반 함정음향 시험평가 발전을 위한 고려 요소

M&S 기반 함정음향 시험평가의 성공여부는 모델의 신뢰도가 좌우한다. 함정음향모델들은 연구개발 및 시험을 통하여 지속적으로 개선 보완되어야 한다. 이를 위한 발전적 요소들을 고려하면 다음과 같다.

일반적인 경우와 마찬가지로 M&S 기반 시험평가는 충분한 자료를 바탕으로 한다. 모델 설계는 물론, 시뮬레이션과 평가에 이르기까지 자료가 충분하여야 결과에 대한 신뢰도가 높아진다. 특히 M&S 기반 시험평가에서 신중하게 고려하여야 하는 실측시험과의 근접성을 증명하기 위한 실측자료 GTD(Ground Truth Data)는 필수적이다. 프랑스의 경우 그림 7의 모형시험 등을 통하여 음향전달 경로와 전달함수를 모델링하고 있으며, 미국의 경우에도 유사한 시험을 통하여 모델의 신뢰도를 높이고 있다. 음향환경 모델링 측면에서도 미국은 SHAREM(Ship ASW





[그림 기 음향전달 경로 및 함수 모델링을 위한 모형 시험

Readiness & Effectiveness Measure) 등을 통하여 환경자료를 지속적으로 확보하고 여러 연구기관에서 해양환경과 음향전달손실 등을 모델링하고 있다. 우리나라에서도 이와 같은 연구개발 및 시험을 통하여 모델링을 위한 공학적 자료들을 확보하고, 이를 바탕으로 모델을 지속적으로 개선 발전시켜야 한다.

M&S에 필요한 자료들은 어느 한 기관에서 생산하거나 관리하기란 불가능하다. 함정 관련 기초적인 자료에서부터 공학적 기술 자료에 이르기까지 여러 기관에서 다양하게 자료를 보유 관리하고 있음에 따라, 이들 자료들을 상호 공유하는 시스템이 필요하며 DB(Database)를 기반으로 하는 정보공유체계가 그 대안이 된다. 해군 조함단이 의욕적으로 추진 중인 조함정보체계, 해군전술정보단의 해양·음향DB, 그리고 국방과학연구소의 해상시험자료DB와 해양물리자료DB 등을 비롯한 DB들을 학계, 연구기관, 산업계와 연동시켜 정보를 공유함이 바람직하다.

M&S 기반 시험평가에는 M&S기법 적용을 위한 인프라와 제도 및 정책이 뒷받침되어야 한다. VV&A(Verification, Validation and Accreditation), 합동/분산 시뮬레이션, 환경 및 표준화가 선결되어야 할 과제이다. 이는 함정음향모델에 대한 기본적인 연구와

모델링을 수행 중인 국방과학연구소를 중심으로 이와 같은 기반기술들이 확보되고 있으나, VV&A를 비롯한 제도와 정책은 해군과 국방부/합참이 공동으로 추진하여야 한다. 현재 국과연이 개발하였거나 개발 중인 모델들은 대부분 일정하게 규정된 환경에서 시뮬레이션 되고 있으며, 함정 임무에 따른 전장환경과 교전환경 역시 작전운용성을 고려하여 상당부분 정립되어 있다. 그러나 M&S 기반 함정음향 시험평가를 전면적으로 시행하기 위해서는 기반 기술들에 대한 체계적이고 공식적인 검증의 선행 없이는 불가능하다고 판단되므로 VV&A 적용 검토는 시급하다고 사료된다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 M&S 기반의 함정음향 시험평가 개념에 대하여 고찰하였다. 함정음향의 설계 목표치를 예측하고, 개념설계와 기본설계 및 함정 건조과정에서 함정음향을 예측할 목적으로 함정음향모델 설계를 정립하였다. 이와 아울러 본 논문에서는 함정음향 모델의 시뮬레이션을 통한 함정음향 시험평가 방안을 제시하였다. 모델은 피탐지 확률에 의한 음향모델 설계 방식과 탐재장비 및 추진기 특성에 의한 음향모델 설계를 Top-Down 및 Bottom-Up 개념으로 제안하였다.

본 연구에서 제시한 피탐지 확률에 의한 TD 설계 방식은 함정이 위협세력으로부터 탐지될 요소들을 고려한 개념으로서, 함정 생존성 향상을 목적으로 함정 음향을 낮게 예측하려는 속성을 지닌다. 탐재장비 및 추진기 특성에 의한 BU 설계 방식은 함정음향을 생성시키는 제반 장비와 추진기 특성을 개별적으로 중

합 모델링 하는 개념으로서, 하부체계의 소음들을 중합하는 과정에서 현실적으로 합정음향을 크게 예측할 가능성이 높다. 그러므로 합정음향 목표치 설정을 위해서는, BU와 TD 방식의 모델을 모두 사용하여 합리적인 수준에서 이들을 상호 절충시키도록 한다. 개념설계와 기본설계 및 합정 건조 과정에서는 설계 최적화 및 소음 통제를 통한 목표치 만족이 최우선 과제이므로 BU 방식 음향모델을 시뮬레이션 하여 설계 결과를 반복적으로 평가한다. 그리고 모델의 특성에 따라, 기본설계 결과에 대한 시험평가에서 음향특성 평가에는 BU 방식 음향모델을 적용하고 성분작전 평가에는 TD 음향모델을 적용한다.

제안된 TD 및 BU 방식은 대형상륙함과 한국형 전투함의 음향 설계 및 시험평가 기준치 설정에 적용되고 있다. 이를 통하여 과거와는 달리 음향에 대한 보다 체계적이고 기술적 통제가 가능함으로써, 본 연구 결과는 합정의 임무 수행 및 생존성 향상이 보장되는 합정 건조에 필수적인 개념으로 기여하고 있다.

M&S 기반 합정음향 시험평가의 성공여부는 모델의 신뢰도가 좌우하므로 합정음향모델들은 연구개발 및 시험을 통하여 지속적으로 개선 보완되어야 한다. 또한 M&S 기반 합정음향 시험평가를 전면적으로 시행하기 위해서는 M&S 기반 기술들의 확보 및 확보 기술들에 대한 체계적이고 공식적인 검증의 선행이 필수적이라 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이필호 외, 수상함 합정음향측정 절차서, 국방과학연구소 기술보고서, 1995년 7월.
- [2] 손 권 외, 잠수함 수중방사소음측정기법 연구, 국방과학연구소 기술보고서, 2000년 12월.
- [3] DSMC, Test and Evaluation Management Guide, 3rd Ed., Defense Systems Management College Press, Fort Belvoir, VA 22060-5565, March 1998.
- [4] Department of Defense, DoD Directive 5000.59, DoD Modeling and Simulation(M&S) Management, Department of Defense USA.
- [5] 전재진, "합정음향특성설계", 해군본부 세미나, 2000년.
- [6] 해군본부, 무기체계 시험평가 기준서, 해군본부 전투발전단, 2000년 6월.
- [7] 도경철, "해군 합정/무기체계의 M&S기반 시험평가 개념", 해군본부 전투발전단 세미나, 해군본부, 2001년 5월.
- [8] 도경철, 정기현, 박의동, "해군 무기체계 획득을 위한 M&S 기반 시험평가 발전 개념", 제3회 시험평가기술 심포지엄 논문집, pp.13~23. 국방과학연구소 종합시험단, 2001년 9월.
- [9] 도경철, 정기현, "M&S 기반의 무기체계 시험평가 발전개념" 군사과학기술학회 종합학술대회, 2001년 8월.
- [10] R. A. Earnshaw, Virtual Reality Applications, 1995, Academic Press Ltd., pp.8~15.