

# 수상함 소나의 기술현황 및 발전추세

이성은

\*국방과학연구소

## 목 차

- I. 서 론
- II. 소나의 기술적 특성
- III. 수상함 소나의 개발현황 및 발전추세
- IV. 결 론

### I. 서 론

바다는 오랜 역사를 통해 인간에게 중요한 해양자원의 제공과 수송로로서 가치를 지니고 왔으며 이로 인해 국가간의 이해가 첨예화되고 있다. 바다의 이용가치와 관련되어 해양에서의 패권 우위를 위한 해군력의 증강 및 해저자원 개발 등과 관련된 해양공학의 발전이 활발하게 이루어지고 있는데 수중 음향공학이 이들 분야에 지대한 역할을 하고 있다. 수중음향 공학의 상업적, 군사적 중요성이 증대함에 따라 이를 이용하는 기술 및 장비인 소나의 발전도 급속도로 진행되어 왔다. 소나(SONAR)는 SOund Navigation and Ranging의 약자로서 “수중음향을 이용하여 수중 물체의 존재, 위치, 속성 등을 알아내는 기술이나 장비”를 통칭하는 것이다.[1]

소나의 범위는 적용 분야별로 군사용과 상업용으로 구분된다. 군사용 소나의 용도는 잠수함의 탐지, 위치 산출, 식별, 추적, 통신 등이고 상업용 소나의 용도는 어군 탐지, 해저지형 탐사, 항해 보조, 지질 탐사, 음향해양학 등을 들 수 있다. 소나는 1, 2차 세계대전을 치르면서 독일 잠수함 U-boat에 대한 연합군이 대잠수함 작전의 중요성이 강조되면서 군사용 소나 관련 기술이 급속히 발전했다.[2] 또한, 2차 세계대전 후에는 해양자원 개발이 활발해지면서 군사용 목적으로 발전해온 소나 기술을 기반으로 상업용 소나 기술분야 연

구도 증가하고 있다. 소나의 응용분야가 매우 광범위하지만 주된 소나의 연구 활동 및 적용 분야는 군사적 목적이다. 군사용 소나의 주된 목표는 적의 잠수함 세력을 탐지, 식별하여 무력화 시키는 대잠수함 작전용으로서 소나 탑재 형태에 따라 대잠초계기용 소노부이(sonobuoy), 대잠헬기용 디핑소나(dipping sonar), 수상함용 선체부착형소나(HMS : Hull Mounted Sonar), 예인형 선배열소나(TASS : Towed Array Sonar System) 및 해저고정형 선배열소나(SOSUS : SOund SURveillance System), 잠수함 소나 등으로 구분된다. 이 논문에서는 군사용 소나 중 수상함의 선체부착형소나와 예인형 선배열소나에 대해서만 언급하고자 한다.

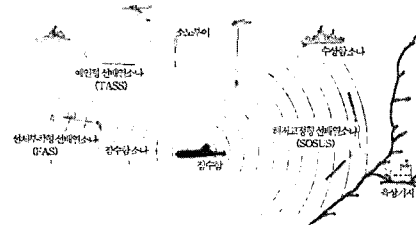


그림 1. 소나 시스템 종류의 예

## II. 소나의 기술적 특성

소나는 적의 함정에서 발생하는 음파를 수신하여 이를 전기적 신호로 바꾸어서 표적의 정보를 얻는 수동적 기능과 트랜스듀서에서 송신한 음파가 표적에서 반사되어 오는 신호를 수신하여 표적을 탐지하는 능동적 기능으로 구분된다. 음파를 수신하는 수동적 기능을 하이드로폰(hydrophone)이라 하고, 송신하는 기능을 송신기(projector)라 부르며 능동/수동의 복합기능을 갖는 장비를 트랜스듀서(electro-acoustic transducer) 또는 음향센서라 부른다.

소나의 운용성능은 음향출력, 지향성, 재료특성, 신호처리 기술 및 소나를 작동하는 해역의 음파전달 환경 등에 따라 결정되며 이들의 특성을 살펴보기로 한다.

### 2.1 음향출력

트랜스듀서는 전기-음향 에너지변환 기능을 하므로 음파를 수신하고 송신하는 효율이 성능을 결정한다. 하이드로폰에서 수신한 음향에너지를 전기적 에너지로 전환시키는 비율을 수신감도(free field voltage sensitivity)라 부르며 일정한 주파수 대역에서는 수신감도가 큰 변화가 없이 일정한 값을 갖게 되지만 그 범위를 벗어나면 급격하게 수신감도가 감소한다.

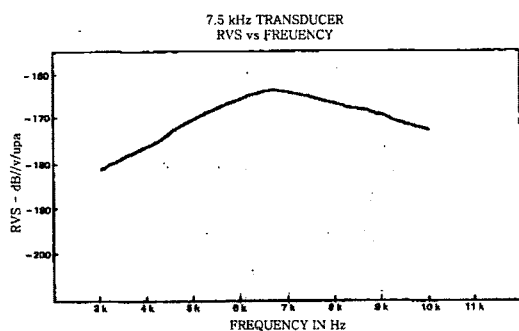


그림 2. 트랜스듀서의 수신감도 특성

송신기에 입력된 전기에너지가 음향에너지로 출력되는 비율을 송신감응(transmitting voltage response)이라 부르며 트랜스듀서의 구조와 재질

특성에 따라 특정 주파수 부근에서 음향출력이 최대가 되며 이때의 주파수를 공진주파수라고 부른다. 공진 주파수에서 멀어질수록 음향출력은 급격히 감소하여 송신기의 효율은 급격히 저하된다.[3-4]

### 2.2 지향성

소나의 탐지효율을 높이기 위해서는 음향에너지를 일정한 방향으로 모아서 송/수신하는데 이러한 조작용 지향성을 준다고 하고 에너지 집중 정도가 크면 지향성이 높다고 한다. 지향성이 높으면 표적의 방향을 정확하게 탐지할 수 있고 음파의 송/수신 능력이 좋아지므로 탐지거리가 증대된다. 지향성을 주기 위해서는 여러 개의 센서를 배열하여 구동시킨다. 배열하는 형태에 따라 선배열, 평면배열, 원통배열, 구형배열 등이 있으며, 배열의 각 엘레먼트에 인가하는 전압의 크기와 위상을 변화시키면 지향성을 조절할 수 있고 운용환경에 적합한 소나를 설계할 수 있다. 일반적으로 사용하는 소나의 배열의 물리적 크기가 클수록, 높은 주파수를 사용할수록 지향성이 높아진다.[3-4]

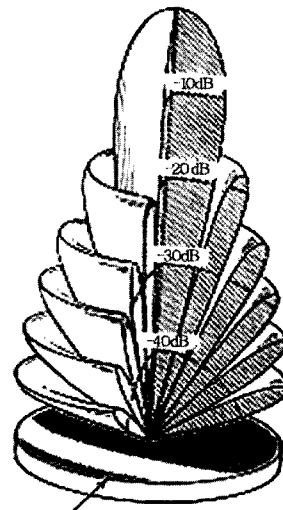


그림 3. 원형배열 트랜스듀서의 송신지향 특성

### 2.3 재료특성

음향센서의 대표적인 재료로는 압전형 재질이

사용되어 왔다. 어떤 결정이 음파와 같이 외부의 압력변화에 의해서 변형을 받을 때 결정면에 전기가 발생하거나 반대로 외부에서 전기장을 변화시켜주면 변형이 일어나는 현상을 압전현상(piezoelectricity)이라 하고 이를 이용한 트랜스듀서 재료로는 압전결정(piezoelectric crystal)과 강유전체 세라믹(ferroelectric ceramic)이 있다. 압전결정의 특성은 변위와 전기장의 관계가 선형적이어서 음향출력 설계가 용이한 장점이 있으나 결정 내부에 습기를 포함하면 감도변화를 일으키는 것이 단점이다. 강유전체 세라믹은 세라믹에 영구적인 전기분극(electric polarization)을 가하여 트랜스듀서의 기능을 부여한 것으로 유전상수, 압전상수 등 에너지 변환특성이 좋으며 개발된 상품명으로는 PZT, Ceramic-B 등이 있으며 성형성이 좋아 여러 가지 형태를 쉽게 만들 수 있으므로 트랜스듀서의 재료는 압전결정에서 강유전체 세라믹으로 대체되어 왔다.

자기장의 변화에 따라 변형을 일으키는 성질을 이용하여 자외소자 센서(magnetostrictive sensor)와 코일형 센서(moving-coil sensor) 등은 주로 송신기로 사용하고 현재 통신과 여러 가지 의료기구 등에 이용되고 있는 광섬유는 하이드로폰으로 활용하기 위한 실험 연구결과 성능과 운용 측면에서 실용화가 가능한 것으로 밝혀져 앞으로 수동소나의 새로운 대안으로 부각되고 있다.[3-5]

## 2.4 신호처리 기술

소나 신호처리 기술은 레이더 신호처리 기술과 기본 개념은 매우 유사하나 해양환경요소가 소나 신호에 미치는 영향이 레이더에 비해 매우 복잡하고 민감하게 작용하므로 이러한 환경요소들을 이용하여 소나 성능을 향상시키기 위한 복잡하고 정교한 신호처리 기법들이 적용된다. 또한 고도의 신호처리 기법이 소나에 적용될 수 있는 요인으로서 실시간 소나 신호처리에 요구되는 시간이 레이더에 비해 비교적 길고 신호처리 주파수 범위도 상대적으로 매우 낮아 하드웨어로 실현이 용이하다는 점이다. 소나는 배열의 크기가 증가하고 처리해야 할 주파수 내역폭이 증가함에 따라 처리해야 할 정보량은 폭발적으로 많아지므로, 컴퓨터의 최적 정보처리 및 전시 능력의 도움 없이

는 효율적인 작전 수행이 불가능하다.

소나의 신호처리 대상은 크게 두 분야로 나뉜다. 수동신호(passive signal)는 함정이나 잠수함에 발생하는 방사소음으로서 협대역소음, 광대역소음 및 천이소음(transient signal) 등이다. 그 중에서 협대역소음은 최근의 함정소음 감소기술이 발달하여 함정자체에서 감소시킬 수가 있으므로 수동신호 분석의 주된 관심분야는 광대역소음과 천이소음이 된다. 능동신호처리 분야는 능동소나에서 송신한 신호의 표적반사음을 처리함으로써 정확한 표적위치를 찾는 것이다.

수동신호에 대한 소나 신호처리 기법은 시간, 공간, 주파수 3차원 신호처리 기술이며 3차원 영역에서의 특성들은 서로 독립적이 아니라 종속적인 관계이다. 시공간상 신호처리(space-time signal processing)는 배열 신호처리로서 다중센서 배열신호를 사용하여 지향성 빔을 만드는 다중채널 공간상 필터 기법이다. 배열 신호처리 기법 중 고전적인 빔형성 기법으로는 시간영역 빔형성과 주파수영역 빔형성 기법이 사용되고 있다. 주파수영역 빔형성의 장점은 정밀한 빔형성을 위한 높은 입력신호 샘플을 없이 Nyquist 샘플을 만족하면 되어 A/D 관련 하드웨어와 신호전송의 부담을 줄일 수 있다는 점이다. 또한, 대부분의 빔형성 다음 단계의 신호처리가 주파수영역에서 이루어지므로 하드웨어 제작면에서도 효율적이다. 하지만 천이소음 같은 시변신호에 대한 신호처리 이득이 매우 저하되는 단점이 있다. 고전적인 빔형성 기법의 낮은 방위 분해능을 높이기 위하여 고분해능 빔형성 기법들이 제시되었는데 대표적인 기법으로 MVDR, MUSIC 등이 있다.[6-7] 소나의 기본적인 기능인 표적 탐지, 추적, 식별, 기동분석 등을 수행하기 위해선 표적신호로부터 필요한 정보를 추출해야 한다. 시공간상 신호처리에 얻은 공간상 표적정보와 함께 시간-주파수 영역에서의 표적정보인 신호파형, 에너지 준위, 기본 주파수 및 고조파, 주파수 톤(tonal) 폭 및 안정도, 광대역 신호 스펙트럼 등이 기본적인 정보이다. 이를 위해 표적에서 발생하는 소음원의 시간-주파수 특성에 최적인 신호처리가 이루어져야 한다. 표적신호 스펙트럼이 광대역과 협대역 신호로 구성되어 있듯이 소나 신호처리도 광대역

과 협대역으로 수행되는데 기본적인 신호처리 구성은 스펙트럼 분석기와 유사하다. 소나 신호처리의 기본 메뉴는 표적 탐색용 광대역 탐지, 토널 신호주파수 분석용 LOFAR(Low Frequency Analysis and Recording), 프로펠러 케비테이션 소음 분석용 DEMON(Detection of Envelope Modulation On Noise), zoom FFT에 의한 정밀 주파수 분석용 Vernier 모드 등이 있다.

지속적이고 주기적인 함정소음의 감소에 의한 탐지 손실을 극복하기 위하여 활발하게 진행되는 연구 분야는 대표적으로 3가지가 있는데, 1)수동-능동 소나의 융합[8], 2)천이소음 신호처리[9], 3)bispectrum 등의 비선형 신호처리이다. 수동-능동 소나의 융합은 선체부착형 능동소나의 송신신호를 장거리 탐지용 저주파 선배열 소나의 수신센서 및 신호처리를 융합한 경우 외에 bistatic/multistatic 소나 등이 연구되고 있다. 잠수함의 어뢰 발사, 급격한 심도/속도/진로 변경, 펌프와 같은 보조기관 작동 등의 경우에 발생하는 순간적인 천이소음 신호처리를 위해 파형분석, short-time FFT, wavelet transform 등의 기법이 적용 및 연구되고 있다.[10]

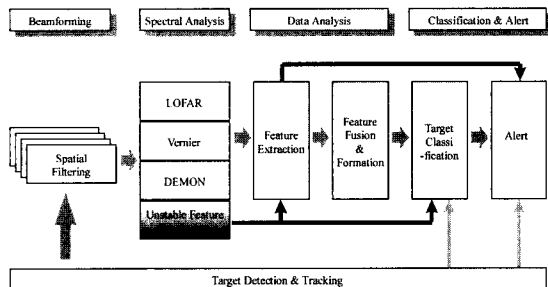


그림 4. 수동소나 신호처리 흐름도

소나 신호처리기 하드웨어 설계 제작 기술은 80년대 이후 급속하게 발전한 반도체 기술과 하드웨어 개발 환경을 바탕으로 혁신적으로 발전해 왔다. 신호처리, 데이터 처리 및 그래픽 처리를 위한 고속 연산 및 큰 용량의 메모리 문제는 대규모 병렬처리 알고리즘과 관련 프로세서 및 고속의 디지털 신호처리 전용 프로세서 등장으로 실현이 매우 용이해졌다. 이로 인해 소나 신호처리기 개발 비용과 기간 단축 및 정비유지의 용이

성이 효율적으로 실현되어 왔다. 특히 최근의 신호처리기 개발 추세는 공용 모듈화 개념의 도입으로 동일한 신호처리기가 적용 분야에 따라 다양한 형태의 신호처리 요구를 만족시키고 있다. 대표적인 시스템이 미해군의 최신 표준 디지털 공용 신호처리기인 AN/UYS-2이다[11].

AN/UYS-2는 수상함용 대잠수함 통합전투체계 AN/SQQ-89, 최신 잠수함 통합전투체계 AN/BSY-2 및 조기경보용 저주파 선배열 소나 SURTASS 등의 신호처리기로 사용된다.

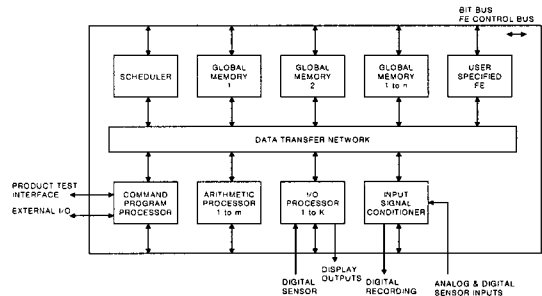


그림 5. AN/UYS-2의 구조

최근 능동소나를 이용한 표적의 탐지에서는 천해에서 표적을 탐지하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 천해에서 표적을 탐지할 경우, 다중경로 신호와 잔향신호가 표적탐지에 심각한 영향을 미치게 된다. 다중경로가 존재하는 경우 방사된 신호는 표적에 반사되어 표적 반사신호를 만들고, 이 표적 반사신호는 다중경로의 각 경로를 통해 시간차를 두고 수신되는 각각의 경로신호가 된다. 이와 같이 방사된 신호가 송신기와 수신기 사이를 왕복하는 시간이 경로마다 다르기 때문에 다중경로는 신호 왜곡의 원인이 된다. 이로 인해 수신된 표적신호는 송신신호와 다른 형태를 가지게 되어 일반적인 신호처리기법들은 탐지성능의 저하를 가지게 된다.

송신신호에 대한 잔향신호의 비는 송신신호의 형태에 의해 영향을 받게 되므로 적절한 송신신호의 파형을 형성(shaping)함으로써 잔향의 영향을 줄일 수 있으며 현재 잔향의 영향을 줄이는 신호 파형으로서 빗살(comb) 구조를 가지는 신호가 연구되고 있다.[12-13] 현재 능동소나에서 이용

되고 있는 신호에는 CW 신호와 LFM 신호가 있으며, 잔향 환경에서 CW 신호는 표적이 정지해 있거나 저속으로 움직일 경우 표적을 탐지하지 못하며 LFM 신호는 표적의 속도와의 관계가 없으나 지속적으로 잔향의 영향을 받게 된다. 빗살(comb) 구조를 가지는 신호 중의 하나인 PTFM(Pulse Train Frequency Modulation) 신호는 이 두 신호의 단점을 보완한 것으로 아함의 속도에 따라 짧은 LFM 부펄스의 개수를 조정하여 잔향신호와 표적신호가 동일한 방향 및 주파수대역에 존재하지 않도록 함으로써 잔향 환경에서의 표적 탐지성능을 향상시킨다.[14-15] 따라서 효과적인 표적의 탐지를 위해서는 이러한 잔향의 영향을 줄이는 것이 중요하다.

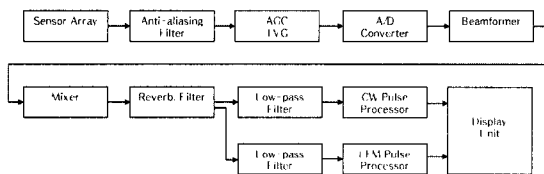


그림 6. 능동소나 신호처리 흐름도

### 2.5 운용환경

해양에서의 음파는 직진하지 않고 대부분 굴절하면서 진행하고 해저면이나 해표면에서 반사가 일어나서 전달과정이 대단히 복잡하다. 해양의 여러 가지 물리적인 환경 요소들은 음파가 물속을 전파할 때 진행경로를 결정하고 에너지를 흡수/산란시키며 해양 소음은 신호탐지의 저해 요인이 된다.

음파의 진행경로는 음속분포에 따라 결정되는데 물속에서는 수온이 높을수록, 염분도가 높을수록, 수심이 증가할수록 음파의 전달속도(음속)가 빨라져서 음속분포는 수평적/수직적인 변화가 다양하고 특정한 음속분포에서는 음파가 전달할 수 없는 음영구역(shadow zone)이 나타나기도 한다. 따라서 소나의 작동수심을 조절하거나 음파의 송/수신방향을 조절하여 소나를 작동함으로써 음영구역의 영향을 최소화 한다.

물속에서는 고주파 음파의 흡수율이 높아서 음파가 먼 거리까지 전달할 수 없으므로 부설된 기뢰와 같이 가까운 표적을 탐지할 때는 100kHz 이

상의 고주파 소나를 사용하며, 수십 킬로미터 떨어진 원거리의 잠수함을 탐지하기 위해서는 흡수 손실이 적은 저주파 소나(3kHz-20kHz)를 사용하게 된다[16].

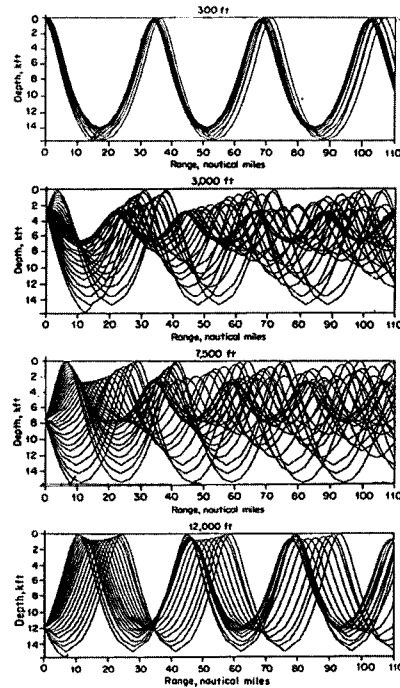


그림 7. 수중에서 음파가 전달되는 형태 (송신기의 깊이에 따라 전달형태가 다르다)

음향모델은 음파전달 특성, 반향음과 수중소음을 예측하여 소나 작동시 최적 작동모드를 선정할 수 있게 하며 탐지 가능거리를 추정할 수 있다. 음향모델은 대체로 세부분으로 구성 된다. 첫째는 해양환경 요소로서 음속분포, 수심, 해양지질, 해상상태 등이며, 둘째는 음향요소들로서 전달손실, 해양소음, 반향음 등이며, 세번째 분야는 해양환경요소와 음향요소들을 입력하여 소나의 탐지성능을 산출하는 것이다. 특히 전달손실 모델은 대단히 중요하며 미해군과 해군연구소에서는 50개 이상의 모델을 개발하였다. 해양과 환경에 관한 데이터 베이스는 해양측정 자료를 월별 또는 계절별 평균값을 제공해 준다. 여기에 첨가하여 인공위성에서 실시간으로 측정된 자료를 활용

할 수 있으며 해류와 동류에 관한 해양학적 예측 결과를 이용할 수 있다.

### III. 수상함 소나의 개발현황 및 발전추세

#### 3.1 수상함 소나의 개발현황

수상함정의 앞부분에 장착하며 유선형의 돔을 씌워 유체저항을 줄이고 함정자체에서 발생하는 소음과 유체소음을 줄이도록 운용하는 대표적인 소나 형태를 선체부착형소나라고 한다. 2차 세계대전이 끝난 후 미해군은 해양특성에 따라 원거리 표적을 탐지하기 위해서는 소나의 주파수를 낮추어야 하는 것을 알게 됨에 따라 AN/SQS-4 소나를 개발하게 되었다. 개발 초기에는 14khz의 주파수로 시작하였으나 1954년에 해군에서 운용할 때의 주파수는 10khz로 낮아졌다. 탐지거리는 18khz 소나에 비해 2배가 증가된 5,000야드였다. 1958년에는 5khz의 AN/SQS-23소나가 출현하여 탐지거리는 10,000야드까지 확대되었다. 1960년 이후 소나의 주파수가 더욱 낮아짐에 따라 트랜스듀서 크기가 증가하여 세라믹 재료인 PZT 계열이 사용되었고 새로운 표준재료로 채택되었다. 주파수를 줄이기 위한 노력이 계속되어 3.5khz의 AN/SQS-26소나가 탄생하였고 경사면에서의 반사파가 아닌 직접파의 탐지거리는 20,000야드로 확대되었다. 그러나 주파수가 낮아짐에 따라 트랜스듀서의 크기가 커져서 소나의 직경이 16피트, 높이는 5피트, 무게는 60,000파운드, 소나 돔(Dome)의 크기는 60피트가 될 만큼 거대하였다. AN/SQS-26소나의 성능이 향상되어 고효율, 원거리 탐지능력을 갖는 AN/SQS-53 소나가 1962년에 취역하였으며, 신뢰성이 증대되고 디지털 출력을 하게 된 소나로서 반도체 기술이 적용되었으며 30여년 동안 사용되면서 성능개량을 계속해 왔다.

잠수함의 저소음화 추세와 음파전달 특성 조건에 따라 수상함의 선체부착형소나는 운용심도를 가변할 수 없으므로 대잠수함전에서 상대적인 열세에 놓여 있다. 이를 극복하기 위하여 함정 후미에서 음향배열 센서를 예인하면서 적절한 운용심도를 설정하여 적 잠수함을 조기에 탐지하고자 예인형 선배열 소나가 개발되어 운용되고 있다. 예인형 선배열소나는 함정

자체소음의 영향이 적고 저주파를 수신하므로 탐지능력이 좋은 장점들을 가지고 있으며 탐지환경이 좋을 때는 수십 마일 이상의 원거리까지 탐지할 경우도 있다. 태평양에서 훈련시 영국의 Type2031 예인형 선배열소나는 미국의 Queenfish 잠수함을 며칠동안 계속해서 추적할 수 있었다. 이는 일반 함정소나가 표적이 되는 잠수함을 단 몇 시간이나 심지어는 몇 분 동안 추적하다가 표적을 놓치는 경우들과 비교하면 예인형 선배열소나의 장점을 알 수 있다. 예인형 선배열소나는 제작과 운용의 유연성도 큰 장점 중의 하나다. AN/SQR-19소나는 1983년 미국 Gould사와 GE사가 공동 개발하였으며, 8개의 초저주파 음향모듈을 장착하고 있으며 현재 미해군 수상함정에 탑재되어 운용되고 있는 예인형 선배열소나 체계이다.

심해와 달리 천해에서는 각종 선박들이 통행에 의한 주변소음 증가로 표적과 유사한 소음성분이 많이 존재하므로 수동 탐지소나로 식별인자에 의한 잠수함 탐지는 매우 어렵게 된다. 따라서 이를 위해 능동 소자에 의한 탐지/포착 노력이 요구되나 수중 복반사음(reverberation)에 대비한 신호처리 기법의 별도 개선은 불가피하다. 또한 최근 잠수함에는 저소음 선형 채택, 저소음 추진의 개발 및 추진기관/보조기관의 소음 차단기법 적용 등에 의해 현 소음수준을 현저히 감소시키고 있으며, 그림 8에서처럼 7개 날개의 저소음 추진익(skewed type) 채택시 약 10dB의 프로펠러 소음을 줄일 수 있는 것으로 관측되고 있다.

따라서 기존의 수동 예인형 선배열소나로서 잠수함의 탐지/식별이 점점 어려워져 능동탐지 소나의 재등장 요구가 점차 증대되고 있다.



그림 8. 저소음 추진익

미국에서 운용하고 있는 대표적인 선체부착형 소나의 형태는 그림 9와 같고 표 1은 미국에서 운용중인 수상함 소나의 현황을 요약한 것이다.

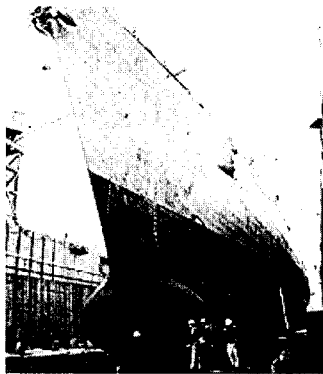


그림 9. AN/SQS-26 소나의 형태

표 1. 미국에서 운용중인 함정소나 현황

소 나 명	특 성	개발 회사
AN/SQS-35, 36, 38	<ul style="list-style-type: none"> <li>○실해나 전해에서 잠수함을 증가거리에서 탐지</li> <li>○1960년대 이후 미 해군에서 운용 후 성능 개량을 지속하고 가변심도 소나(VDS)와 복합 운용기능 보유</li> </ul>	EDO Co.
AN/SQS-53, 26	<ul style="list-style-type: none"> <li>○고출력 원거리 탐지 소나로서 능동모드에서는 표출도파관, 해저반사, 음수렴 구역에 따라 탐지범위 변경 운용</li> <li>○수동모드에서는 표적량향탈 탐지하며 소음 처리 능력이 향상되어 고속 운항 중에도 수동 탐지 능력을 보유</li> </ul>	Westinghouse
AN/SQS-56, DE1160, DE1167, DE1164	<ul style="list-style-type: none"> <li>○미해군용은 AN/SQS-56, 수출용은 VDS를 병행하여 운용 가능</li> <li>○해저 DE1180으로도 명명</li> <li>○탐지, 식별체계가 지용화되어 조작사 1명이 능/수동 모드 모두 작동 가능</li> <li>○DE1167은 개량형으로 7, 5, 12khz 주파수를 사용</li> <li>○DE1164는 VDS 소나임</li> </ul>	Raxtheon Co.
AN/SQR-18A(V) TACTAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>○선배열 센서 길이 : 800ft</li> <li>○AN/SQS-35V 시스템의 VDS와 복합 운용 가능</li> </ul>	EDO Co. & Martin Marietta
AN/SQR-19 TACTAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>○선배열 센서 길이 : 1,700m</li> <li>○최대 작동수심 : 365m</li> <li>○실해 및 전해에서 잠수함 탐지능력 보유</li> </ul>	Westinghouse & Martin Marietta

### 3.2 수상함 소나의 발전추세

잠수함 탐지를 위한 비음향센서의 연구가 꾸준히 진행되고 있으나 적어도 앞으로 10년 정도는 소나가 대잠전에서 핵심적인 역할을 담당할 것이다. 잠수함의 소음이 점점 감소함에 따라 해군은 대잠전 능력을 강화하기 위하여 새로운 소나를 개발하거나 현재의 장비를 개선하기 위한 노력을 기울이고 있다. 능동소나의 성능을 강화하는 방안으로는 저주파를 사용하여 원거리까지 탐지거리를 확장시키는 것이며, 현재의 트랜스듀서 개발 기술이 발달함에 따라 기술적으로는 가능하다. 그

러나 능동소나와 수동소나는 서로 보완적인 기능을 가져야 하며 현재 개발되고 있는 예인형 선배열소나는 저주파 능동소나와 복합하여 사용하는 송/수신 분리형(bistatic sonar)으로 사용할 수 있다. 저주파용 고출력 능동소나는 Tonpiltz형 트랜스듀서, 이중 종단(double-ended)을 갖는 종방향 진동체, Flexentional 트랜스듀서, 링 트랜스듀서 등이 사용되어 진다.

기술적으로는 소나의 사용주파수를 수 백hz까지 낮출 수 있으나 부피와 질량이 커져서 함정에서 실제로 장착, 운용하는데는 제한을 받는다. 원거리 탐지를 위해서는 주파수와 출력뿐만 아니라 해역환경에 적합한 수심에서 소나가 작동해야 하므로 깊은 수심에서 작동할 수 있도록 트랜스듀서의 내압성이 높아야 한다.

대잠작전 측면에서 잠수함 은닉성 제고를 위해 기울여온 여러 가지 측면의 대응방안을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 작전환경에 따른 최적탐지 심도 선정이 가능한 가변심도소나의 적용, 둘째 음파전달 손실 감소 및 스텔스(Stealth)화 대비를 위한 저주파 채택, 셋째, 저소음화에 의한 수동탐지 성능 저하를 보강하기 위한 능동탐지, 넷째, 수동 예인형 선배열소나의 저주파 신호처리 능력을 최대한 활용할 수 있는 송수신 분리 능동탐지 체계 개발 등이 필요함을 알 수 있다. 따라서 향후 수상함의 대잠작전을 위해 수동 예인형 선배열소나와 저주파 능동소나의 복합 즉, ATAS(Active Towed Array Sonar) 개념 도입이 필수적으로 요구된다.

그러나 이의 채택시 강한 출력의 송신센서 예인에 따른 수상함의 기동성 제약 및 인근함정과 bistaic/multistatic에 따른 복잡한 운용을 위한 C3 체계 구동 등 산적한 문제점을 안고 있다. 하지만 무엇보다도 스텔스화된 잠수함의 수동탐지 열세 극복이 향후의 최우선 과제이므로 능동 TASS의 적용은 불가피할 것으로 보인다.

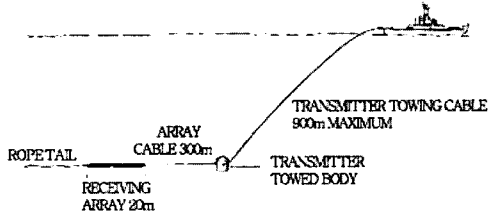


그림 10. ATAS 구성도

앞에서 살펴본 작전측면에서 예상되는 수상함의 미래형 소나개념을 위해 영국, 독일, 프랑스, 네덜란드, 미국 등 선진 각국에서 실제로 어떤 개발 노력을 기울이는지를 살펴보기로 한다.

영국 해군은 TYPE 2031Z TASS에서 저주파 ATAS 체계로 전환하기 위한 개발 프로그램으로 2050 선체부착형소나, 500Hz 근처의 가변심도 능동센서 및 100Hz 근처의 TASS 체계외에 헬기의 디핑 소나를 포함한 복합체계로 구성되는 2087 소나 개발계획을 진행하고 있다. 이 계획은 1994년 6월 가능성 검토를 착수하여 1997년에 개발계획을 완료할 예정이다. 독일은 ATLAS사 주축으로 1988년부터 자국해역에서 ATAS 사용 가능성을 검토하여 왔으며 현재 ACTAS ASA92를 개발 완료하여 시판을 서두르고 있다. 프랑스는 DCN 주관으로 잠수함/어뢰 탐지를 위해 1987년부터 SLASM 계획에 착수하였으며 사용주파수는 1KHz 미만으로 시스템이 구성되었다. 네덜란드는 1994년 초부터 TNO의 Physics & Electronics와 Thomson Sintra ASM과 공동 개발한 Tonpiltz 트랜스듀서 배열 및 2개의 수동배열 시스템을 공동 실험하는 ALF(Active Low Frequency) 소나 개발 프로그램을 추진 중이다. 미국은 1986년부터 개발된 능동 음원 및 수신배열을 이용하여 monostatic 및 bistatic에 의한 잠수함 탐지능력을 시험하여 원거리까지 탐지 가능함을 입증하였으며 현재에도 시험을 계속하고 있다. Multi-static 소나 시스템에 대한 개념 검토로 향후 AN/SQQ-89 소나 체계와 연계될 예정으로 NUSC에서 설계한 ALF 소나 체계를 위해 Edo사가 개발한 시제품을 USS Glove(FF)에 탑재하여 1991년부터 시험에 착수하였다. 이는 전투전단에 투입된 상호함정을 이용하여 monostatic 및 bistatic 모드에서

효과적인 표적의 자동 탐지 추적 능력보유가 가능한지를 검토하는 프로그램이다.[17-18] 앞에서 살펴본 내용을 기초로 각국의 미래용 저주파 소나 개발현황을 종합하면 다음과 같이 요약될 수 있다.

잠수함의 은닉화는 꾸준히 실현되어 2차 대전 에 비해 30dB 이상 소음이 감소되었고 이 추세라면 100dB 근처의 수렴이 가능 혹은 달성할 것으로 예측된다. 이런 경우 수동탐지분야는 벽에 부딪히며 이를 극복하기 위한 대안을 모색해야 할 것이다.

이의 첫 번째 주자로서 저주파 능동형 TASS를 꼽을 때 아래 그림 11에서처럼 저소음의 잠수함에 대한 효과적 탐지능력을 보유할 것으로 기대된다. 바로 이런 이유로 각국은 지난 10-15년 동안 계속적인 연구로 이에 대한 소요기술은 대부분 확보하였을 뿐 아니라, 현재는 특히 예인 송신체의 경량화 및 multiline array의 실용성 확보 노력에 주안점을 두고 있는 것이다.

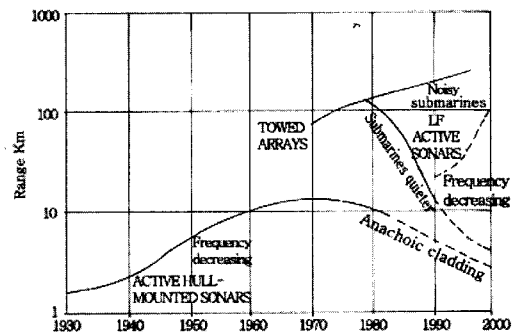


그림 11. 수상함 소나 발전추세

앞에서 살펴본 대잠작전 측면에서 효과적인 잠수함 탐지/공격을 위해 21세기에 요구되는 수상함 소나는 가변심도 소나로서 잠수함의 저소음화 및 표적강도 감소 추세에도 불구하고 능동형 TASS가 수동형 TASS보다 탐지측면에서 우위를 점할 것으로 예측되고 있다. 또한 각국의 ATAS 개발노력 및 지금까지의 소나 발전추세를 살펴본 더라도 2000년대의 수상함에 저주파 능동형 소나의 채택은 불가피할 것이다. 이는 수상함 소나의 주파수분석에 의한 식별을 전제로 기동성이 탁월



한 항공기를 이용한 재탐지/식별, 위치확인 및 공격을 효과적으로 수행하기 위한 것이다.

그러나 현재의 추세로 잠수함의 은닉성 노력이 진행시 수동탐지의 어려움은 증대될 것이므로 저주파 대역의 능동 예인형소나의 사용은 필연적으로 요구되며 특별한 함 기동없이 좌/우 분리 가능한 능동 예인형소나는 대잠작전 수행에 매우 효과적 수단일 것이다. 이때 기존의 수동 예인형 선배열소나는 bistatic 모드의 수신 수단으로 활용가치가 충분히 있다. 수동 예인형 선배열소나는 은밀한 사용이 가능하나 능동 예인형소나는 공개적 사용이 불가피한 점이 운용상 제약점으로 남게 될 것이다. 그러나 적 수동소나에 TASK FORCE에 의한 함대 이동은 사전 노출이 불가피할 것으로 판단되므로 이때 적극적인 능동탐색은 오히려 적 잠수함 접근 거부 효과도 있을 뿐 아니라 인근 아군 함정과의 bistatic/multistatic 작전에 의한 광역 탐색의 은밀한 공격도 가능한 이점이 있다.[19]

지금까지 취역한 수많은 잠수함들은 아직도 상당 기간 취역될 것이며 취역한 기존 재래식/원자력 잠수함들이 특별한 구조변경이 없이 운용되는 한 수동 예인형 선배열소나의 사용은 계속적으로 필요한 것이다. 비록 잠수함이 정속화 노력을 하더라도 현재의 기술로 수백 Hz 미만대의 극저주파 영역의 소음 감소는 매우 어려우므로 기존 수동탐지 소나보다 배열길이가 증대된 극저주파 TASS를 예인 가능한 대형 함정을 투입하면 이의 탐지는 가능하다.

따라서 21세기의 수상함 소나는 능/수동 복합 TASS체제로 발전할 수밖에 없으며 이를 실현하기 위한 운용전술의 개발도 고려되어야 할 것이다.

#### IV. 결 론

이 논문에서는 수상함 소나의 기술적 특성과 개발현황 및 발전추세에 대해 개략적으로 살펴보았다. 소나 신호처리 대상은 수동신호와 능동신호로 구분되어 잠수함 표적을 탐지, 식별 및 추적을 효율적으로 수행하기 위하여 정밀한 신호처리 기

법들이 연구되어 적용되고 있다. 세계 선진 각국은 잠수함의 저소음화 추세에 따라 현재 운용하고 있는 수상함의 선체부착형소나와 예인형 선배열소나들이 대잠수함전에서의 열세를 극복하기 위하여 수동 예인형 선배열소나와 저주파 능동소나의 복합 형태인 ATAS 체계 개발과 다양한 bistatic/multistatic 형태의 복합체계를 구성, 발전시키고 있는 추세이다.

여하튼 스텔스화된 잠수함의 수동탐지 열세 극복을 향한 연구 노력과 관련 운용전술 개발이 지속될 전망이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] A. A. Winder, "II. Sonar system technology", *IEEE Trans. Sonics Ultrasonics*, vol. SU-22, no.5, pp.291-332, Sep. 1975.
- [2] L. Gerken, "ASW versus submarine technology battle", American Scientific Corp., 1986.
- [3] B. McTaggart, "Thirty years progress in sonar transducer technology", pp.3-11, UDT 1991.
- [4] L. Michel, "Development and trend in high power low frequency transducer design", pp.83-87, UDT 1991.
- [5] P. Nash, "Optical fibre hydrophone technology for sonar systems", pp.437-440, UDT 1995.
- [6] R. A. Mucci, "A comparison of efficient beamforming algorithms", *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, vol. ASSP-32, no.3, June 1984.
- [7] S. Haykin, ed., "Advances in spectrum analysis and array processing", vol. II, Prentice Hall, New Jersey, 1991.
- [8] "Anti-submarine warfare, maritime defense", July/August, pp.176-187, 1993.
- [9] C. Chen, "Automatic recognition of underwater transient signals - review", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp.1270-1272, 1985.
- [10] F. Hlawatsch and G. F. Boudreaux-Bartels, "Linear and quadratic time-frequency signal representations", *IEEE Signal Processing*

*Magazine*, pp.21-67, April 1992.

- [11] G. Melcher, G. Thomas and D. Kaaplan, "The navy's new standard digital signal processor, the AN/UYS-2", *J. of VLSI Signal Processing*, vol.2, pp.103-109, 1990.
- [12] H. Cox, H. Lai, "Geometric comb wave- form for reverberation suppression", *IEEE Signals, Systems and Computers*, Vol. 2, pp. 1185-1189, 1994.
- [13] T. Collins, P. Atkins, "Doppler-sensitive active sonar pulse designs for reverberation processing", *Proc. IEE Radar, Sonar and Navigation*, Vol. 145, No. 6, pp. 347-353, December 1998.
- [14] Y. Doisy, L. Deruz and R. Been, "Sonar waveforms for reverberation rejection, Part I : theory", *Proceedings of UDT Pacific*, 2000.
- [15] R. O. Nielsen, "Sonar signal processing", Artech House, Boston, 1991.
- [16] R. J. Urick, "Principles of underwater sound", 3rd Edition, McGraw-Hill, 1983.
- [17] "Sonar considerations in modern anti- submarine warfare, maritime defense", Nov. 1992.
- [18] "New sonar programmes go active, maritime defense", July/August 1993.
- [19] 국방과학기술, 1995.2.

### 저 자 소 개



#### 이성은

1958년 8월 25일생  
1982년 2월 한양대학교 전자공  
학과(공학사)  
1990년 2월 부산대학교 전자공  
학과(공학석사)

1997년 2월 부산대학교 전자공학과(공학박사)  
1982년 1월 ~ 현재 국방과학연구소 책임연구원  
※ 관심분야: 수중음향신호처리, Data Fusion