

수중 음향의 발전과 응용



윤석왕

성균관대학교 물리학과 교수
음향학 연구실

머리말

지난 해 사람들은 영화 타이태닉을 보며, 많은 흥미와 자연의 엄청난 힘에 감동하였을 것이다. 타이태닉 여객선은 당시까지 인간이 만든 배 중 가장 튼튼하며, 어떠한 경우에도 침몰하지 않는 배라고 자신하였던 여객선이었다. 그러나, 바람도 잔잔하고 조용하였던 평온한 바다에서 항해 중 조그마한 빙산에 부딪힌 후 타이태닉 여객선이 무참히 침몰하는 과정을 보며 많은 사람들은 자연의 엄청난 위력과 인간의 약함을 다시 한 번 실감할 수 있었다. 캄캄한 밤중이라도 타이태닉 여객선의 선원들이 앞에 빙산이 있는 줄 알았다면 그들은 속도를 줄이고 빙산을 피할 수 있었을 것이다. 1912년 발생한 이와 같은 타이태닉 여객선의 침몰 사건은 1513명의 생명을 빼앗아간 불행한 사고였으나 그와 같은 어두운 밤에 물 속에 있는 물

체를 어떻게 볼 수 있을 것인지에 대한 의문과 연구를 시작하게 하는 계기가 되었다. 또한 이는 현대에 활용되고 있는 수중 음향의 중요성에 대한 인식의 시발점이 되었으며, 해양에서 앓을 볼 수 있는 눈의 역할을 할 수 있는 현대적인 수중 음향 탐사와 그의 응용에 대한 관심의 시작이 되었다.

아무리 맑은 물이라 하더라도 물 속에서 몇 미터 앓을 내다보는 것이 매우 어렵다는 것을 경험하였을 것이다. 실질적으로 빛과 같은 전자기파는 물 속에서 단지 수 미터의 매우 짧은 거리만을 전파할 수 있고, 물 속에서 대부분의 에너지를 잃게 된다. 소리는 역학파이므로 전자기파인 빛과는 다르게 파를 전달해주는 매질을 필요로 한다. 소리는 전파 매질에 역학적인 변환인 압력이 매질에 압축과 팽창을 발생시켜가며 밀도의 변화로 전파되어가는 것이다. 따라서 진공 속에서는 소리는 전파되지 못한다. 그러나, 물과 같이 상대적으로 큰 밀도를 갖고 있는 매질에서 전자기파는 흡수와 산란으로 에너지가 급속히 감쇠하므로 전파가 매우 어려운 반면, 소리는 수십만 미터 이상의 먼 거리까지도 쉽게 전파가 가능하다.

음속은 매질의 밀도와 압력의 변화 관계 때문에 음파 전달 매질의 성질에 따라 변하게 된다. 전파 매질로서 구성 물질의 밀도가 상대적으로 낮은 공기 중에서 음속은 15°C에서 약 340

m/s이나, 밀도가 높은 15°C의 민물에서 음속은 약 1466 m/s이며, 바닷물에서 음속은 약 1507 m/s이다. 이와 같이 음속은 매질의 구성 요소에 따라서 바뀐다. 또한, 바닷물의 경우에서도 음속은 수온, 수심 그리고 염분도 등에 따라 바뀌므로 발생된 음파는 음속의 변화에 따라 휘어지는 형태로 전파되며, 이를 음파의 굴절이라고 한다. 즉, 이와 같은 음파의 굴절은 음파의 반사와 함께 스넬의 굴절과 반사의 법칙으로 잘 설명되며, 음파의 전파 방향을 예측하거나 또는 음파를 발생시키는 음원의 위치를 역으로 추적하는 것이 가능하게 된다. 이들은 소리가 전파되는 매질의 변화를 관측하거나 빛과 같은 전자기파가 전달될 수 없는 어두운 곳에서 앓에 어떤 물체가 있는지를 판단하는 데 소리를 이용하는 기본적인 원리가 된다. 이와 같이 물 속에서 소리의 발생, 전파, 탐지 및 이를 활용하는 기술에 대한 연구를 하는 학문 분야를 수중 음향학이라고 한다. 수중 음향학은 해양학과 매우 밀접한 관계를 가지고 있으나, 해양학 자체와는 완전히 구분되는 물리 음향학의 한 분야이다.

수중 음파 송신 및 수신 장치

수중에서 소리를 이용하여 먼 거리까지도 관측하기 위해서

는 보다 효율적으로 소리를 발생시키고, 수신할 수 있는 음향 장치가 필요하게 된다. 초기 수중 음향 활용의 성공은 현대까지 사용되고 있는 첩판 사이에 압전 물질인 석영판을 끼워 샌드위치 형태로 만든 Langevin의 음향 압력 변환자에 기인한다. 1918년 수중에서 고효율 음파 발생기를 이용하여 8 km 까지 음파가 전파되어 처음으로 수중에서 물체의 탐지가 가능함이 입증되었다. 이와 같은 음파 송신 및 수신 장치를 음향 탐지기 또는 소나(SONAR: Sound Navigation And Ranging)라고 한다. 같은 음원에서 음파를 송신하며, 반송음을 수신할 수 있는 장치를 능동 소나라고 하며, 단지 음파를 수신할 수 있는 장치를 수동 소나라고 한다. (Clay and Medwin, 1977)

제 1차 세계 대전이 끝난 직후인 1919년, “해양에서의 수온과 염분도의 작은 변화가 음파를 굴절시키므로 음파 전달 거리에 큰 영향을 미칠 수 있다”는 이론에 대한 연구 논문이 독일의 Lichte(1919)에 의해 독일 물리학회지에 발표되었으며, 이것은 수중 음향학에 있어 첫 번째 학술 논문으로 간주되어진다. 제 1차 세계 대전 후 수중 음향학의 실질 응용에 관한 연구는 다소 저조하였으나, 1925년 미국의 Submarine Signal Company는 음파를 이용한 수심 측정기인 fathometer를 개발하여 미국과 영국에서 이미 상용으로 판매하기 시작하였다. 또한 제 1차 세계 대전 후 전자 장비들의 급속한 발달로 음파를 이용한 탐지 장치인 소나의 개발과 더불어 제 2차 세계 대전이 임박한 1938년 이미 미국에서는 소나의 대량 생산이 가능하였다. 제 2차 세계

대전의 발발과 함께 미국의 대부분 군함에는 소나를 장착, 운영하여 독일의 잠수함 U-boat의 섬멸에 지대한 공헌을 하였다.

제 2차 세계 대전의 발발과 함께 군함 또는 음향 어뢰에 장착된 소나의 해양에서 표적 탐지 능력을 향상시키기 위해서 필수적으로 강력한 음파를 발생시킬 수 있도록 수중 음파 발생 장치를 개선하는 것과 탐지 능력을 최대화하기 위한 음파의 적정 주파수의 선정 그리고 반향 또는 수신된 신호의 처리를 위한 많은 연구가 진행되었다. 수중 음파 발생 장치의 개선은 전기적인 에너지를 역학적인 에너지로 변환시켜 주는 압력 변환자 물질 및 전기 증폭 장치의 개발과 함께 가능하여졌다. 그러나 음탐 장비 소나의 적정 운영 주파수는 음파의 입사 조건과 음파의 전파 매체인 해양에서의 음속의 변화, 밀도의 변화 등 매질의 많은 물리적인 성질과 직접 관련되어 단순한 실험실 조건의 모델에 근거한 자료들만 가지고 소나의 적정 운영 주파수를 선택한다는 것은 매우 어려운 작업이다. 최근에 이르러 비로소 컴퓨터의 발달과 함께 수중 음파 전달 모델의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 보다 효율적인 소나의 적정 운영 주파수에 대한 이해와 선정이 가능하여 지고 있다.

수중 음파의 전파

수중에는 많은 부유물들이 있으며, 소리의 전파를 방해하고 소리의 세기를 약화시키며, 그들이 갖고 있는 정보를 교란시키는 많은 요인들이 있다. 특히, 수중에 많이 형성되는 공기방울

들은 음파를 매우 잘 산란시켜 음파의 장거리 전파를 방해하는 주된 요인으로 작용하며, 이들은 수중 배경 소음의 발생 메커니즘과 직접적으로 연관됨이 밝혀졌다.(Yoon, 1989). 따라서, 수중에서 전파되는 음파가 갖고 있는 정보를 보다 정확히 파악하기 위해서는, 수중 배경 소음의 발생 메커니즘과 소음의 세기에 대한 이해를 보다 명확히 하여야 하며, 배경 소음을 배제한 음향 신호를 정확히 인식할 수 있는 방법이 요구된다. 또한 컴퓨터의 연산 처리 속도가 향상되며 이를 위한 많은 음향 신호 분석법들이 개발되고 있다.

바닷물 속도 시끄러운 시장과 같이 여러 종류의 잡다한 소음을 발생시키는 원인들이 있으며, 이들 소음 발생원을 규명하기 위해 이들 소음의 발생 메커니즘에 대한 이해가 필요하다. 이들 소음 발생원 및 발생 메커니즘은 일반적으로 수중 소음에 대한 연구 주제로 분류되며, 이 수중 소음 분야는 수중에서 음향을 이용한 장치들을 운용하기 위하여는 기본적으로 연구되어야만 하는 분야이다. 그러나 해양에는 워낙 많은 소음원이 함께 존재하며, 장소와 때에 따라 다양하여, 현재까지도 많은 미지의 수중 소음원에 대한 연구가 진행되고 있다.

해양에서 수중 소음을 발생시키는 소음원은 지각 변동, 해류 흐름, 해상 교통, 해양 생물, 해표면 교란, 해수 분자 교란 등 발생 소음원을 기준으로 또는 발생 주파수 대역과 관심 주파수 대역에 따라 구분되어질 수 있으나, 이들은 절대적인 기준이 아니며 단지 편의에 따른 구분이다.(그림 1). 지진 또는 지하 핵 실험 등에 의한 지각 변동은 1

Hz 미만부터 100 Hz의 주파수 대역에서 $1 \mu Pa$ 을 기준 압력으로 86 dB ~ 126 dB (약 $2 \times 10^4 \mu Pa \sim 2 \times 10^6 \mu Pa$)의 소음 레벨로 나타나며, 10 Hz 주변에서 최대 진폭을 보이는 것으로 관측되고 있다. 이 압력의 크기는 약 $10^5 Pa$ 인 지구 대기압의 약 천만분의 일에서 십만분의 일 정도에 해당되는 매우 작은 압력의 크기이다. 그러나 음향 탐지기에 관한 많은 연구결과와 발달로 이와 같이 아주 작은 압력의 변화에 대한 소리도 수중에서 감지가 가능하다. 이들은 일시적으로 발생하는 소음원이며, 발생 지역에 따라 지역적인 소음원으로 볼 수도 있다. 그러나, 이 소음은 매우 낮은 주파수이므로 감쇠가 매우 적어 먼 거리까지도 전파가 가능하며, 지각 변동이 발생한 위치로부터 지구의 반대편 되는 지점에서도 관측되어지고 있다. 해수의 교란도 지각 변동과 같은 주파수 대역의 주된 소음원이나 해양에 상존하는 소음원으로 구분되어진다. 일시적으로 발생하는 간헐적인 소음원으로는 해양 생물과 비 등이 있으며, 해양 생물인 경우 지역에 따라 10 Hz ~ 20 kHz의 넓은 범위에 걸친 수중 소음으로 나타나고 있다. 10 Hz ~ 1 kHz 주파수 대역의 소음은 주로 해상에서 운항되는 선박들에 기인하며, 해상 교통량이 많은 경우 40 Hz 주변에서 약 90 dB의 최대 소음 레벨을 나타내고, 보통의 해상 교통량에 대하여서는 30 Hz 주변에서 80 dB의 최대 소음 레벨을 갖는 것으로 관측되고 있다. 특히, 해상 교통에 따른 소음 레벨은 측정 지점에 따라 많은 변화가 있다. 해표면 교란에 의한 수중 소음은 100 Hz ~ 20

kHz 주파수 대역에서 발생되며, 해표면에서 부는 풍속과 매우 좋은 상관 관계를 보이고 있다. 열 소음으로 불리워지기도 하는 해수의 분자들의 교란에 의한 수중 소음은 일반적으로 20 kHz 이상에서 주파수 증가와 함께 소음 레벨이 증가되는 현상이 관측되고 있다.

수중 소음과 공기방울의 음향학적 역할

해양에서 수중 소음의 발생 메카니즘의 한 예로, 물 속에 만들어진 공기방울들이 만들어 내는 소리는 흥미로운 연구 대상이다. 바닷물 속에는 많은 원인들이 의하여, 공기방울들이 형성되며, 이들의 발생 원인은 바다의 표면층에서 발생하는 파도, 비, 해상에서 운항되는 선박, 그리고 해양 생물 등을 들 수 있다. 이와 같은 원인으로 인하여 형성된 수중에서의 공기방울들은 쉽

Knudsen Spectra

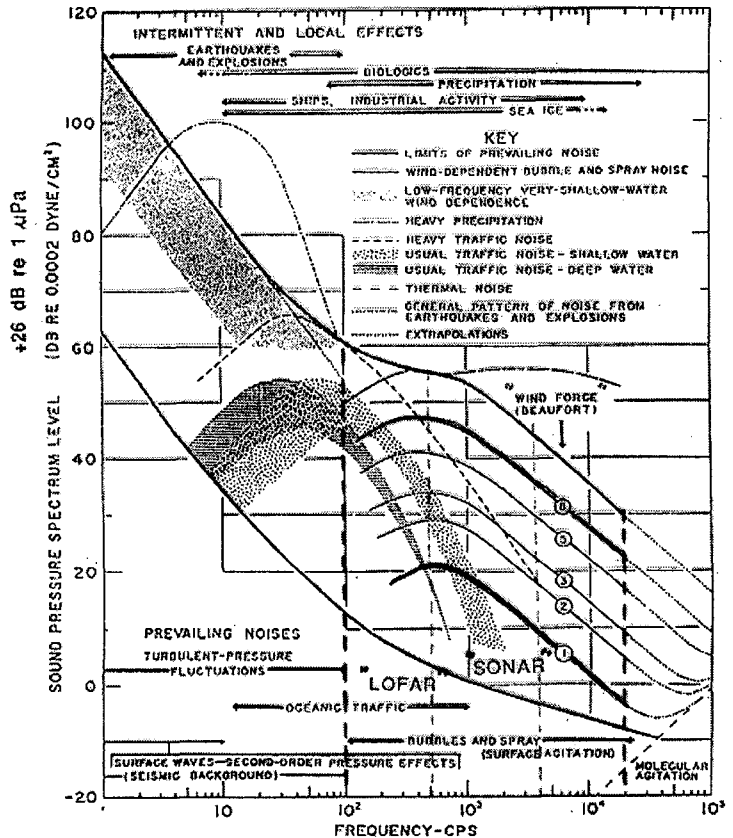


그림 1. 해양에서 측정된 수중 주변 소음 스펙트럼(Wenz, 1962). (일명 Knudsen 스펙트럼으로 불리워짐) 0.0002 dyne/cm^2 ($20 \mu Pa$) 기준의 스펙트럼 레벨을 $1 \mu Pa$ 기준 스펙트럼 레벨로 환산하기 위하여서는 26 dB를 더함.

개 공진하여 울림으로 소리를 주변에 매우 효율적으로 방출한다.

수중에 만들어진 개개 공기방울들의 운동은 용수철과 같이 원래의 형태로 돌아가고자 하는 복원력을 가진 역학적 진동자로서 설명이 가능하다. 수중에 형성된 공기방울의 크기와 개개 공기방울에 의해 방출되는 소리의 공진 주파수와와의 상관 관계는 이미 오래 전에 Minnaert(1933)에 의해 공기방울의 반경 a 와 공진 주파수 f_0 의 곱은 3.3 정도의 값을 가지는 것으로 밝혀졌다. 예를 들면, 반경이 1 mm인 공기방울의 경우 약 3.3 kHz의 소리를 매우 효율적으로 방출할 수 있다는 의미이다. 실질적으로 해양에서는 1 mm 또는 그 보다 작은 많은 물방울들이 존재하며, 이들은 3 kHz 이상의 수중 소음을 발생시키는 주된 메카니즘으로서의 역할을 하고 있다.

해상 상태에 따른 수중 소음은 수백 hertz 대역의 낮은 주파수 대역에서 소음이 주로 관측된다. 이는 수중에 형성된 공기방울들의 집단 운동에 의한 소음 방출의 가능성으로 해석할 수 있다. 가까이 있는 개개의 공기방울들이 함께 진동하는 것을 여러 용수철이 연결되어 진동하는 역학 진동자들이 함께 공진하는 경우로 간주할 수 있다. 두 개 공기방울이 함께 진동하는 경우를 두 개의 역학 진동자의 직렬 연결인 경우로 유추하면, 두 개 공기방울들의 집단운동에 따른 공진 진동수는 개개 공진 진동수의 약 70 %에 해당하는 공진 진동수로 감소하게 된다. 이와 같이 역학 진동자로 볼 수 있는 개개의 공기방울들이 집단으로 형성되어 집단 운동을 하므로 개개 공기방울들의 공진 진동수에 비

하여 공기방울들의 집단 운동은 현격히 낮은 공진 진동수의 소음을 방출할 수 있다. (최 등, 1994, 1998). 공기방울이 들어 있지 않은 순수한 물에 비하여 공기방울이 들어 있는 물의 경우 매질의 압축율이 변하게 되며, 따라서 음속이 변하게 되어 집단 운동에 의한 공진 진동수도 낮아지게 된다. Yoon 등(1989, 1991, 1993)은 실험실 내에서 공기방울 집단을 인위적으로 만들고, 개개 공기방울들의 상호 작용에 따른 공기방울들의 집단 운동을 형성하였으며, 이들 공기방울들의 집단 운동의 공진 진동수를 직접 측정하여 실험적으로 수중 공기방울들의 집단 운동이 해양에서 수 백 hertz 대역 수중 소음의 소음원이 될 수 있음을 입증하였다.

보다 능동적인 수중 음파의 전달을 연구하는 방법으로서 능동 소나를 이용하여 수중에 존재하는 공기방울 집단의 분포 및 공기방울 크기를 예측할 수 있는 음향 탐사법들이 제안되었으며, 현재 실질적인 해양에서의 적용을 위한 연구가 진행 중이다. (Soustova 등, 1996; Yoon 등, 1996; Sutin 등, 1997)

수중 음향의 응용 예

◎ 군사적 응용

항법장치 및 음향탐지기

수중 음향을 가장 많이 활용하는 분야 중 하나는 군사적인 응용일 것이다.(그림 2). 특히, 잠수함과 같이 수중에서 앞을 보는 수단으로 음향을 이용하는 경우와 구축함 또는 수중 병기에서 잠수함을 탐지하기 위한 수단으

로 음향을 이용하는 경우가 대표적인 응용의 예가 된다. 압축과 같은 수중에서 자유롭게 움직이며 군사적인 작전을 수행하기 위해 잠수함은 먼 거리를 보다 효율적으로 관측할 수 있는 음향장치 소나를 이용하여야만 수중에서 항해가 가능하다. 또한, 잠수함은 군사적으로 그들 자신의 운항을 숨기는 것이 가장 큰 문제이며, 이것을 위해 항법 장치의 하나로 매우 집속적인 고주파수의 소나를 이용하여 외부에 노출을 최소화 하고, 항해를 하며, 군사 작전상의 음향 탐지는 주변에서 발생된 소리를 청취하는 수동 소나를 위주로 운용하게 된다. 또한, 소나는 수중에서 어뢰 등의 표적 탐색 및 추적 장치로서 그리고 수중 기뢰의 표적 감지 장치로서 군사적으로 다양하게 활용되고 있다.

이미 잘 알려진 대로 돌고래는 이마에 소리를 발생시키는 기관이 있으며, 턱 양쪽에 사람의 귀에 해당되는 소리를 들을 수 있는 기관이 있는 것으로 밝혀졌다. 돌고래는 이와 같은 기관을 이용하여 소리를 발생하고 반향음을 탐지하므로써 먹이 사냥 등 많은 일들을 매우 효율적으로 하는 영리한 동물로 알려져 있다. 미국의 해군에서는 이와 같은 돌고래를 사람들이 하기에 는 위험 부담이 매우 큰 수중 폭발물의 탐지와 제거에 활용할 수 있는 연구를 이미 오래 전부터 실행하였으며 좋은 성과를 얻은 것으로 알려지고 있다.

항만 방어

중요한 항만을 적의 수중 침투로부터 보호하기 위해서는 군사적인 방어 수단으로서 수중

음향의 활용이 절대적으로 요구된다. 해상으로의 침투는 레이더 또는 위성 사진 등을 이용하여 탐지가 가능하나, 수중을 통한 침투는 탐지가 거의 불가능하며, 항만 방어의 치명적인 취약점이기도 하다. 비근한 예로, 1996년 강릉 해변으로 침투한 북한 잠수정 사건과 1998년 6월과 12월 간첩 침투를 위한 잠수정 사건을 모두 기억하고 있을 것이다. 이들의 탐지는 전자기파를 이용하는 레이더로는 불가능하며, 특히 수중을 통하여 침투하는 경우는 음향으로만 탐지가 가능하다. 음향을 이용한 수중 조기 경보 체계에 대한 연구는 많은 국가에서 매우 활발하게 진행되고 있으며 이와 같은 조기 경보를 위한 수중 음향 탐지 장치가 여러 항만에 설치되어 운영된다면, 수중을 통한 북한 잠수정의 침투와 같은 사건을 미연에 방지할 수도 있었을 것이다.

◎ 민간 산업 응용

어군 탐지 응용

오랜 옛날부터 우리 선조 어부들은 물 속에서 발생하는 소리를 실질적인 생활에 이용하여 물고기를 잡았다. 마디를 뚫은 대나무를 물 속에 담그고, 물고기의 떼들이 이동하는 소리를 들으므로 그들의 이동 방향을 알았다. 어부들은 물고기 떼가 가까이 이동하면 좀 더 높은 진동수로 소리가 커지며, 물고기 떼가 멀어지면 좀 더 낮은 진동수로 소리가 작아지는 것으로 물고기 떼의 이동을 알았던 것이다. 그들은 도플러 효과와 음파 전달

손실의 메카니즘에 대한 학문적인 내용은 몰랐지만 이미 도플러 효과와 음파 전달 손실에 대한 이해로 이들을 실생활에 이용하였던 것이다.

현대 원양 어선에는 대부분 수중 음향 어군 탐지기를 장착하여 운영하고 있다. 이는 물고기 떼를 찾는데 우선적으로 사용된다. 그러나 또 다른 중요한 어군 탐지기의 목적은 그물 안에 들어온 물고기의 양을 추정하여 그물을 회수할 때 그물이 망가지거나 인양 작업 장치에 무리가 가지 않을 양만큼 차게되면 회수하기 위한 기준을 파악하는데 사용한다. 또한 최근에는 양어장에 살고 있는 물고기의 수를 파악하고 연어들이 산란기에 강으로 회귀하는 양을 추정하기 위한 어군 탐지기를 개발 활용하고 있다. 현재 미국에서는 낚시하는 사람들을 위한 소형 어군 탐지기가 상용화되어 약 미화 \$200 이내에서 판매되고 있다.

수중 목장

닫혀진 공간에서 인공적으로 양식하는 방법이 아닌, 물고기들을 자유로이 방목하여 보다 자연적으로 물고기를 양식할 수 있는 방법들이 최근에 도입되어 수중 목장이란 개념으로 부르고 있다. 이런 수중 목장에서는 수중 스피커를 이용하여 먹이를 줄 때마다 항상 특정한 소리를 물고기들에게 들려준다. 이렇게 하면 소리에 익숙하여진 물고기 떼들이 그 소리만 들리면 먹이를 주는 것으로 여겨 물고기 떼가 몰려오게 되는데, 이때 필요한 수만큼 물고기를 잡으면 된다. 이런 양식 기법에도 수중 음향이 이용된다.

해저 자원 개발

해저에는 엄청나게 많은 천연 자원들이 매장되어 있다. 특히, 현대 산업의 근간이 되는 에

해군 작전 개념도.



그림 2. 수중음향을 이용한 해군 작전 개념도.

너 자원인 천연가스와 석유는 지상에서보다는 해저에 더 많은 매장량을 갖고 있는 것으로 알려지고 있다. 해저 천연 자원을 탐사하는 데는 음파를 이용한 해저층의 탐사가 기본이다. 공기층과 같은 원리로 압축된 공기를 갑자기 풀어주므로 충격파를 발생시키고, 이와 같은 충격파가 해저의 각 층에서 반사되어오는 각각의 반사파를 분석하므로 각 층의 성분을 알 수 있다. 특히, 천연가스나 석유는 주변 구성 성분과 큰 차이가 나는 매질이므로 이로부터 반사되는 음파들은 보다 명확한 정보를 알려주므로 매우 강력한 해저 자원 탐사 도구로 활용되고 있다.

수중 구조물의 안전 모니터링 시스템

성수대교와 삼풍백화점 붕괴 사고에서도 보았듯이 각종 구조물의 안전은 인명 피해를 유발하므로 항상 안전 점검이 실시되어야 한다. 지상의 구조물은 육안으로 균열과 붕괴의 조짐이 쉽게 확인이 가능하나, 수중 구조물의 경우 잠수부가 수중에서 확인하는 경우라도 매우 제한된 부분만, 제한된 시간 내에서, 그리고 제한된 거리에서 안전 점검이 가능할 수 있을 정도이다. 이와 같은 경우 수중 음파를 이용, 규칙적인 점검과 구조물의 방출 소음을 연속적으로 모니터링 하므로써 수중 구조물의 지속적인 안전 점검이 가능하다. (그림 3).

선체 표면 부착 생물의 처리

선박의 성능은 선박의 동력원에 대한 성능 유지와 선체의 상태에 의존한다. 특히, 물 속에 잠겨 있는 선체 부분은 굴, 조개,

해조류 등이 쉽게 부착되어 선체의 표면을 거칠게 한다. 이들은 항해 시 저항을 크게 하므로 선박의 항해 속도를 저해하는 가장 큰 원인이 되는데, 선박에 단단히 고착되어 제거하는 데에도 많은 어려움이 있다. 그러나 선체의 표면에 음파를 발생하여 표면파를 형성시키므로 그런 생물이 처음부터 선체에 붙지 못하도록 하는 연구가 진행되고 있으며, 많은 성과를 거두고 있는 것으로 알려지고 있다.

◎ 기상 예측에 이용

지구 온난화 현상의 관측

지구의 온난화 현상과 더불어 엘니뇨 또는 라니냐는 최근 전 세계적으로 일어나고 있는 이상 기후의 주된 원인으로 알려지고 있다. 이와 같은 기상 이변 현상들의 발생 예측을 엄청나게 빠른 속도로 변화하는 대기에서 대류 등에 의한 기상 현상으로만 기술하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나, 지구의 70% 이상을 차지하고 있는 바다에서는 이들의 영향이 서서히 진행된다. 또한, 이들의 축적된 영향은 기

On-line Safety Monitoring System

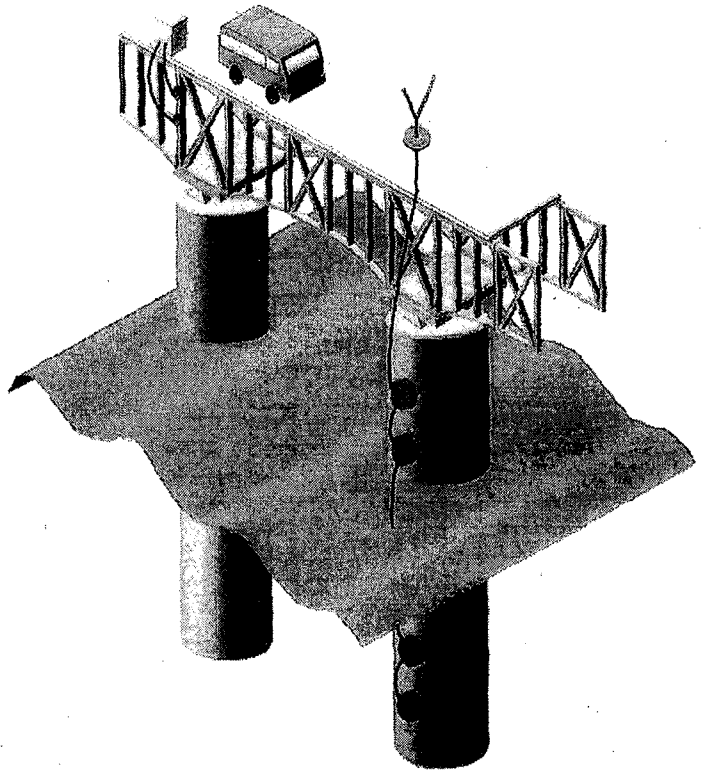


그림 3. 수중 구조물 안전 모니터링 시스템의 모식도.

상 이변의 발생되는 근원으로 볼 수 있는 해수의 온도 변화로 나타나기 때문에 이것을 측정하면 기상 이변을 미리 예측하는데 많은 도움을 줄 것이다. 그러나 전 세계적 규모로 실시간 대에 동시적으로 지구 온난화 현상을 관측하는 것은 용이하지 않으나, 현재까지 가능한 방법으로는 수중 음향을 이용하는 것만이 해결책으로 제시되고 있다. 수중에서 음속이 온도에 의존하는 것을 이용하여, 음파의 전파에 따른 음의 전달 시간의 차를 측정하므로, 해수 온도의 변화를 역으로 추적할 수 있다. 이와 같은 음향 탐사법은 음속의 전달 시간 내에 거의 동시적으로 측정할 수 있는 해양 음향 원격 탐사법(Munk, 1996)으로서 지난 십여년간 개발되어 실험적인 단계로 실제 해수의 온도 변화를 측정하는데 실행되고 있다. 이는 해수 온도의 변화를 거의 동시적으로 그리고 계속적으로 관측 가능하도록 하므로 엘니뇨 또는 라니냐 등에 의한 기상 이변을 보다 정확하게 예측할 수 있게 한다.

강우량 측정

강우량의 측정은 대부분 지상 관측소에서의 측정을 기준으로 기상 예보에 활용된다. 그러나, 지구의 70%를 차지하는 바다에서의 기상 자료가 실질적으로 보다 중요한 기상 예보의 중요한 자료들이다. 해양에서 비에 의한 해표면 교란 때문에 발생하는 소음은 빗방울이 해표면과 충돌될 때 발생하는 1차적인 충격 소음과 2차적으로 충격 후 발생된 공기방울들의 울림에 의한 공기방울 소음으로 구분할 수 있다. 특히, 수표면 충격 후 발생하는 공기방울에 의한 소음은 15

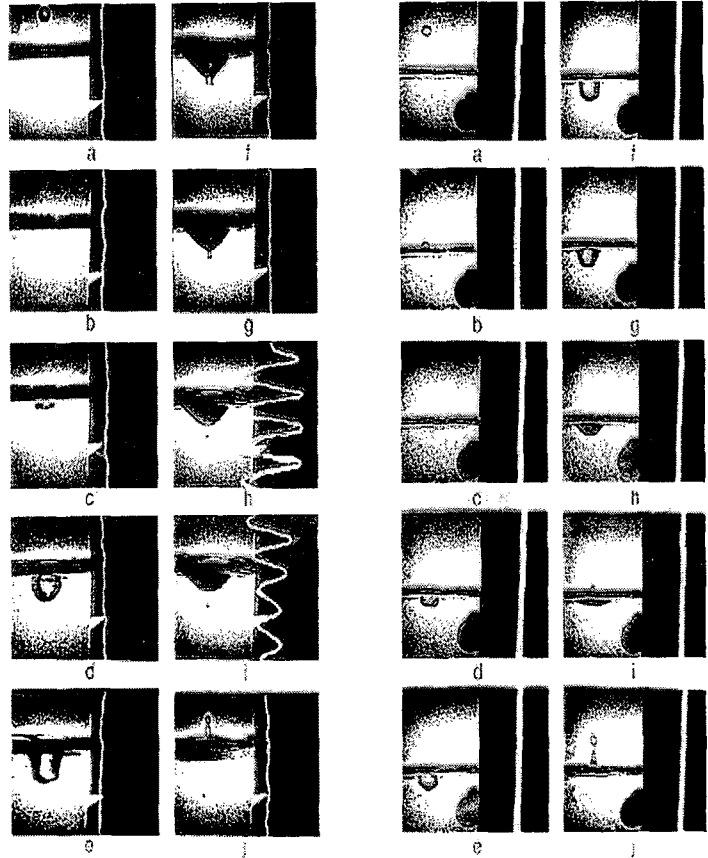


그림 4. 실험실내에서 물방울이 수표면에 떨어지면서 일어나는 충격 및 공기방울이 형성되는 과정(각 사진의 왼쪽면)과 동시에 수중 청음기로 수신된 수중 소음 압력 진폭의 oscilloscope 화면(각 사진의 오른쪽면)을 고속 촬영한 사진 결과 (Pumphrey 등, 1990b).

kHz 주변의 소음 스펙트럼에서 넓은 피크를 이루고 음의 세기가 매우 크며, 오래 동안 지속되므로 매우 효율적인 음향 방출원이란 것이 실험적으로 알려져 있다. [Franz(1959), Nystuen 등(1987), Kim 등(1988), Pumphrey 등(1990a,b)].

그림 4는 Pumphrey 등(1990b)이 실험실내에서 물방울이 수표면에 떨어지면서 일어나는 충격 및 공기방울이 형성되는 과정과 수중에서 음파 수신기로 수신된

수중 소음 진폭의 오실로스코프 화면을 동시에 고속 사진 촬영한 결과이다. 충격 소음(그림 4 c) 보다는 공기방울이 형성된 경우 공기방울에 의해 발생하는 공기방울 소음(그림 4 h)의 방출 음압이 매우 크며, 효율적인 수중 소음의 발생 매체임을 직접적으로 보여 주고 있다. 최근에는 해양에서 수중 소음을 수신하므로 해양의 강우량을 측정할 수 있는 탐사법이 연구 개발되고 있다. (Nystuen, 1996).

맺는말

미국, 러시아, 중국, 일본 등은 군사 대국으로서 군사적인 목적의 수중 음향에 대한 많은 연구와 개발을 하였으며, 이들의 민간 산업으로 전환도 매우 활발하고 다양하게 이루어지고 있다. 국방에서의 응용 외에도 기상 예측, 환경 감시, 어군 탐지, 자원 탐사 등 수중 음향의 응용 분야는 매우 다양하며 실지 우리의 생활과 매우 밀접한 관계임을 알 수 있다. 특히, 현대 의학 관련 연구자들은 수중 음향의 의학적인 응용에 많은 관심을 갖고 있으며, 이들의 응용 결과로써 인간 건강 및 질병의 진단기와 치료기 등이 점차적으로 실현되고 있다. 초음파 진단기를 이용한 임신부의 태아 건강 상태의 점검 등은 이미 일상적인 검진의 하나로 보편화되었다. 80년대 중반부터 충격 음파를 이용한 신장 결석 또는 담석의 쇄석 치료가 이루어지고 있으며, 최근에는 초음파를 이용한 혈관내의 노폐물과 혈전 용해에 대한 연구가 진행되고 있다.

국내에서의 수중 음향의 학문적인 연구는 70년대 후반에 국방과학연구소를 중심으로 본격적인 국방 관련 연구가 시작되었으며, 학계에서는 성균관 대학교, 서울대학교 등 80년대에 들어와서야 본격적인 학문적인 연구가 진행되었다. 여러 선진국의 오랜 투자와 연륜에 비하여, 국내에서의 연구 현황은 비교적 짧은 시간에 괄목할 만한 연구 성과를 거두고 있다. 그러나, 미국, 일본 등의 국가에 비하여, 수중 음향학의 분야에 종사하는 연구원들의 수적인 열세는 물론 연구 지원 역시 매우 미미한 실정으로부터 많은 미래 연구자들의 관심

과 국제적인 지원이 요구되는 분야이다.

참고 문헌

1. 최복경, 윤석왕 (1994), "수중 공기방울의 선형 배열에 의한 음향 방출" 한국음향학회지 13(3), 71-77.
2. 최복경, 김봉채, 윤석왕 (1998), "수중에서 기포들이 결합 진동으로 발생된 소리 파동의 공명 진동수 변화" 한국물리학회 논문 초록집 16(2), 368-369.
3. Clay, C.S. and Medwin, H. (1977), *Acoustical Oceanography: Principles and Applications* (John Wiley & Sons, N.Y.).
4. Franz, G.J. (1959), "Splashes as sources of sound in liquids" *J. Acoust. Soc. Am.* 31, 1080.
5. Kim, E.J., Park, K.J. and Yoon, S.W. (1988), "Underwater noise due to the interaction of single water drops with air/water interface" *J. Acoust. Soc. Am.* 84, S122.
6. Knudsen, V.O., Alford, R.S. and Emling, J.W. (1948), "Underwater ambient noise," *J. Mar. Res.* 7, 410.
7. Lichte, H. (1919), "On the influence of horizontal temperature layers in sea water on the range of underwater sound signals," *Physik.Z.* 17, 385. Translated by A.F. Wittenborn, Tracor, Inc., Rockville, MD.
8. Minnaert, M. (1933), "On musical air bubbles and the sounds of running water,"

Phil. Mag. 16, 235.

9. Munk, W.H. (1996), "Acoustic thermometry of ocean climate," *J. Acoust. Soc. Am.* 100, 2580.
10. Nystuen, J.A. and Farmer, D.M. (1987), "The sound generated by precipitation striking the ocean surface," *Sea Surface Sound*, edited by B.R. Kerman (Kluwer Academic Pub., Dordrecht, The Netherlands), 485 - 499.
11. Nystuen, J.A., (1996) "Acoustical rainfall analysis: rainfall drop size distribution using the underwater sound field," *J. Atm & Ocean. Tech.* 13, 74..
12. Prosperetti, A (1988), "Bubble-related ambient noise in the ocean," *J. Acoust. Soc. Am.* 84, 1042.
13. Pumphrey, H.C. and Crum L.A.(1990a), "Free oscillations of near-surface bubbles as a source of the underwater noise of rain," *J. Acoust. Soc. Am.* 87, 142.
14. Pumphrey, H.C. and Elmore, P.A. (1990b), "The entrainment of bubbles by drop impacts," *J. Fluid. Mech.* 220, 539.
15. Soustova, I.A., Sutin, A.M. and Yoon, S.W. (1996), "Non-linear Acoustic Tomography of Bubble Clouds," *Acoust. Phys.* 42(2) 222-228.
16. Sutin, A.M. and Yoon, S.W. (1995), "Nonlinear Acoustic Tomography for Spatial Bubble Distribution in the Ocean" *Natural Physical Processes related to Sea Surface Sound*, edited by

- M.Buckingham (World Scientific Publisher, Singapore), pp.380-389.
17. Sutin, A.M., Yoon, S.W., Kim, E.J. and Didenkulov, I.N. (1998), "Nonlinear Acoustic Method for Bubble Density Measurements in Water," *J. Acoust. Soc. Am.*, **103**, 2377-2384.
 18. Wenz, G. M. (1962), "Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources," *J. Acoust. Soc. Am.* **34**, 1936.
 19. Yoon, S.W., Crum, L.A. and Prosperetti, A. (1989). "An experimental investigation of bubble clouds as sources of ambient noise," *J. Acoust. Soc. Am.* **86**, S88.
 20. Yoon, S.W., Crum, L.A., Prosperetti, A. and Lu, N.Q. (1991). "An investigation of the collective oscillations of a bubble cloud," *J. Acoust. Soc. Am.* **89**, 700-706.
 21. Yoon, S.W., Park, K.J., Crum, L.A., Nicholas, M., Roy, R. A., Prosperetti, A. and Lu, N.Q. (1993), "Collective oscillations in a bubble column," *Natural Physical Sources of Underwater Sound*, edited by B. Kerman (Kluwer Academic Pub., Dordrecht, The Netherlands), 371-378.
 22. Yoon, S.W., Choi, B.K. and Kim, Eui Jun. (1996). "Acoustic techniques for bubble measurements in the ocean," *J. Acoust. Soc. Am.* **100**, 2839.

< 송준태 이사 >