

# 한국 동해에서 해양음향 토모그래피 적용

나정열

한양대학교 지구해양과학과 해양음향연구실  
[najy0252@email.hanyang.ac.kr](mailto:najy0252@email.hanyang.ac.kr)

최근 해양현상에 대해 deterministic 하다는 관점보다는 stochastic 한 개념으로 다양한 해양현상을 이해하고 설명하고 있는 추세이며 해양의 시공간적인 변동특성을 관측하기 위해서 자연실험실(natural laboratory) 개념을 도입한 관측이 이루어지고 있다. 이에 따른 방법으로 기존의 현장에서의 직접 관측에서 벗어나 원격탐사를 이용한 간접 관측방법을 동원하는 해양탐사가 다양한 방법으로 제시되고 수행되고 있다. 최근에 원격탐사 기법의 하나로 인공위성을 이용한 해수면 수온 관측이 있으나, 이는 해수면으로부터의 적외선 복사에너지를 측정하기 때문에 대기중의 구름이나 수증기 등에 의한 제한을 받으며, 특히 표층수온의 관측에 국한되는 제한을 갖고 있다. 반면에 음파를 이용한 해양탐사(해양음향 토모그래피, Ocean Acoustic Tomography, OAT)는 해수 중에서의 음파 전파 특성과 해수의 물리적 성질과의 밀접한 관계를 이용하는 방법으로 소규모 해양뿐만 아니라 전지구적인 규모의 해양현상까지 관측이 가능하다. OAT는 해수 중에서 음파가 전파할 때 전파매질의 변화에 따른 음파 전파시간 변화 특성을 근거로 해수의 물리적 성질(수온, 음속, 해류 등)을 역으로 추측해 내는 방법으로 수중음향을 이용한 해양탐사 방법이다. 1977년 Munk에 의해 수집된 토모그래피 신호를 변환하여 음속장 역추정 결과를 발표함으로써 OAT가 처음으로 제안되었다. 이러한 연구는 해양의 내부 특성을 감시하는데 매우 중요한 도구가 되고 있으며 1981년 Bermuda 토모그래피 실험에서 최초로 음장 특성으로부터 해양의 특성을 측정하는 실험이 수행되었다.

외국의 경우 초기의 OAT는 대양적 규모의 해양탐사에 적용하여 수온변동을 관측하였는데 최근에는 중규모 해양(수백 km)에도 적용하여 중·소규모 해황 변동 관측에도 응용하고 있다. 또한 송신기와 수신기가 쌍방향 송수신을 하여 그 사이의 유속 변동량도 관측한 바 있다. 지금까지의 OAT는 송신기와 수신기를 특정해역에 고정 설치하여 장기 수온변동이나 단주기 변동인 조석과 내부파 특성 관측에 활용하였으며 최근에는 움직이는 선박에 송수신기를 설치하여 특정해역을 탐사하는 MST(Moving Ship Tomography) 방법과 통신기술의 발달로 수신기에서 수신한 자료를 곧바로 센터에 전송하여 해양을 관측하는 실시간 OAT 해양탐사 방법이 도입되고 있다. OAT를 적용한 해양탐사는 미국을 중심으로 한 OAT 그룹이 주축을 이루어 발전되고 수행되어 왔으며 현재는 acoustic thermometer의 개념으로서 그 적용범위가 확대되고 있다. 의사잡음(Pseudo Noise, PN)을 위상변조한 음파를 사용한 실험은 1991년 Heard Island에서 지구 온난화를 측정하기 위한 대규모 실험에서 처음으로 사용되어 PN 음원신호가 갖는 결정론적 주기, 스펙트럼, 에너지 등의 특성에 의해 좋은 결과를 산출할 수 있었다. 현재는 각국에서 독립 또는 공동 연구를 통해 각종 해양음향 토모그래피가 수행되고 있으며 미국 주도로 지구 온난화 등의 모니터링을 하기 위한 대규모 실험으로 Acoustic Thermometry of Ocean Climate (ATOC)이 지속적으로 수행되고 있다. 러시아의 경우 송

신기와 수신기 사이의 거리가 700~800 km 인 경우 음파의 장거리 송수신 가능성을 근거로 CW 저주파수를 이용한 OAT의 적용 가능성을 제시하였고, 일본은 천해에서의 해양구조를 파악 및 쿠로시로 해류의 모니터링 등을 위해 해양음향 토모그래피를 적용하고 있다.

OAT를 응용하고자 하는 한국 동해의 해양환경은 대한해협을 통한 대마난류수의 유입과 대마난류의 분지 등으로 중규모 와동류가 존재하며 북한난류수의 남하로 극전선이 형성되는 등 공간적인 변화가 심하고 계절적인 변동도 심하여 OAT forward problem 해결을 위한 세가지 조건(음파 전달 경로의 안정성, 식별능력, 분해능)을 만족하는가를 파악해야만 한다. 해양의 운동 중 단주기의 내부파 운동은 신호 도달시간의 변동을 야기시키며 음선 식별능력을 저하시킬 수도 있다. 동해의 해수순환이 복잡하고 다양한 만큼 수온분포 및 구조를 파악하기 위한 조사선을 이용한 현장관측은 오랫동안 수행되어 왔고 근래에는 OAT에 의한 해양탐사에 대하여도 관심이 집중되고 있는 실정이다. 국내의 경우 OAT에 의한 해양탐사에 대한 관심은 높으나 아직은 기본 연구단계에 있다. 팽은 정선정점 관측자료에 의한 장기간 수온, 염분 관측 자료를 근거로 동해의 표준해양을 설정하고 표준해양에서 음향모델에 의한 음파 전파경로 및 도달시간을 파악하였다. 나와 한은 동해에서 비균질 매질을 통과한 수신신호를 모의하였고 한과 나는 forward problem 검증용 통하여 OAT 해양탐사의 가능성을 검토하였다. 또한 거리독립 표준해양에서의 수치실험을 통하여 극전선과 난수성 소용돌이에 의한 음속장의 변동에 대한 수평단층과 수직단층 역추정을 시도하였다. 또한 폭발성 음원인 수중음원 (Signal Underwater Sound, SUS)을 이용한 해양음향 토모그래피 방법에 대한 기초연구를 1997년과 1998년에 걸쳐 수행한 바 있다. 그러나 임펄스성 음파를 송신하여 응답특성을 얻는 방식은 트랜스듀서의 대역폭 한계뿐 아니라 반복성의 문제, 비균일한 스펙트럼등으로 인해 정확한 해양의 해양특성을 산출하는 데는 한계가 있음이 나타났다. 1999년에는 한국을 비롯하여 미국과 러시아가 공동으로 동해 중북부 해역에서의 시공간적인 매질의 변화특성을 규명하기 위한 장거리 해양음향 토모그래피를 수행한 바 있다.

최근의 국제 공동연구는 해양관측과 음향탐사가 동시에 수행되는 추세로 미국과 중국이 황해에서 1995년에 실시한 공동실험은 황해의 해양현상과 음향특성 및 해저지형에 대한 집중적인 연구가 수행되었으며 이와 같은 공동실험은 여러 해역에서 수행되었으며 현재도 수행되고 있다. 이러한 상황에 비추어 국내에 OAT 기술의 조기확보로 주변 해양자원의 관리 및 활용에 주도적 역할을 할 필요가 있다. 국내의 경우 수중음향학을 이용한 연구분야는 주로 군사목적과 관련되어 국한되고 있는 실정이다. 더구나 수중음향학을 이용한 해양환경의 파악은 초기 연구단계로 그 관련 인원 또한 소수에 불과하다. 선진 기술의 도입 및 적용을 위해 시공간적으로 변화가 많은 한반도 주변해역에서 해양환경 파악을 위한 토모그래피의 적용은 필수적이며 기본이론 연구, 해상실험 및 시뮬레이션 알고리즘 개발을 통해 그 가능성을 파악해야 한다. 이를 위해 한반도 주변해역에서의 송수신기의 설치방법 및 장소선정, H/W 구성 및 모니터링 방법의 제안이 필요하며 신호처리방법 및 시뮬레이션 알고리즘 개발을 통한 적용이 필요하다. 이러한 기술의 확보를 통해 해류 측정, 내부파, 매질 기본 특성 및 경계면 상태 추정 등 다방면으로 기술확장이 가능할 것이다. 또한 새로운 해양관측 기술의 국내 도입을 통해 인접 선진국과의 해양에서의 공동연구에도 적극 참여할 수 있을 것으로 사료되는바 그 경제성은 매우 크다고 할 수 있다.