

수중음향 관측망을 이용한 해양저 지진 관측

DOI: 10.3938/PhiT.20.029

이원상

Observation of Underwater Earthquakes by Using a Hydroacoustic Monitoring System

Won Sang LEE

Substantial advances in seismograph technology enable us to precisely and extensively monitor earthquakes occurring everywhere in the world, yet underwater tectonic events have remained insufficiently studied due to a dearth of seismic networks in the oceans. Hydroacoustic monitoring allows the detection and the precise location of small submarine earthquakes and volcanic activity. Furthermore, through hydroacoustic observation, we are able to examine cryogenic signals, which are closely associated with changes in the polar environment, baleen whale calls, and catastrophic tsunamis.

서론

최근 21세기에 들어 전 세계적으로 이상 자연현상에 기인한 재해로 인해 대규모 인적, 경제적 피해가 속출하고 있다. 그 중, 2004년 12월 발생했던 인도네시아 수마트라 대지진, 2008년 5월에 발생한 중국 쓰촨성 지진으로 수십만의 사상자가 발생하였다. 2010년 1월에 발생한 아이티 지진으로 인해 수십만의 사상자, 수백만의 이재민이 발생하였고, 같은 해 2월 칠레에서는 지진규모 8.8의 지진이 발생하여 약 70억 불의 경제적 손실을 가져왔다. 이와 같은 대규모 지진으로 인한 피해가 상상을 초월하여 일반 국민들 사이에서도 지진 재해

저자약력

이원상 박사는 서울대학교에서 이학박사(2004)를 받고, 일본 Tohoku 대학 박사후 연구원(2004-2006)을 거쳐 2006년부터 극지연구소 선임연구원으로 재직 중이다. (wonsang@kopri.re.kr)

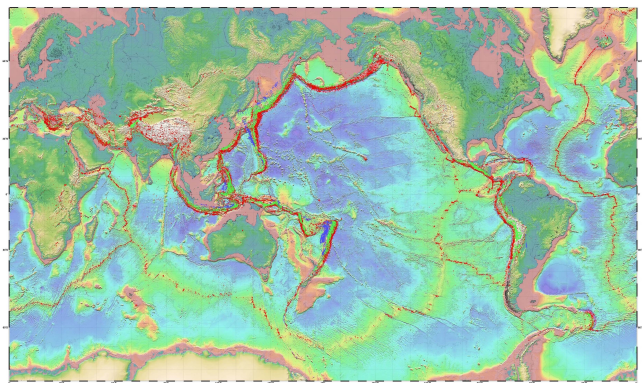


Fig. 1. Global seismicity map. Mostly occurred along the Circum-Pacific seismic belt (so called 'Pacific Ring of Fire'). Even lots of earthquakes occurred along the plate boundaries, which locate in the oceans, their locations are not well determined due to a dearth of seismic networks in the oceans.

에 관한 경각심이 날로 커져가고 있는 가운데, 2011년 3월 11일 이웃나라 일본에서 1900년 이후 기록된 전 세계 지진 가운데 4번째로 큰, 일본 내에서는 근래 130년 동안 가장 큰 초대형 지진이 발생하여 엄청난 인명 피해 및 대지진에 수반된 지진해일(tsunami)로 인하여 지진 발생 인근 해안에 위치해 있던 원자력 발전소의 붕괴까지 초래해 현재까지 많은 고통을 안겨주고 있다.

일반적으로 육상에서 발생하는 지진의 경우, 전 세계적으로 고르게 분포하고 있는 지진관측망(Global Seismographic Network; International Monitoring System 등), 세계 각국에서 자국의 필요에 따라 설치한 지진관측망 및 비약적인 지진관측장비 발전의 도움 등을 통해 발생 위치 및 규모 등이 준 실시간으로 매우 정확하게 결정되고 있다. 최근에는 그동안 극한의 환경으로 인하여 연구 활동이 활발하지 못했던 남극 및 그린란드 등 극지역에도 국제 공동연구 등을 통해 지진(seismic) 및 측지(GPS) 관측망(The Polar Earth Observing Network, POLENET)이 설치되고 있어 관측 영역이 크게 확

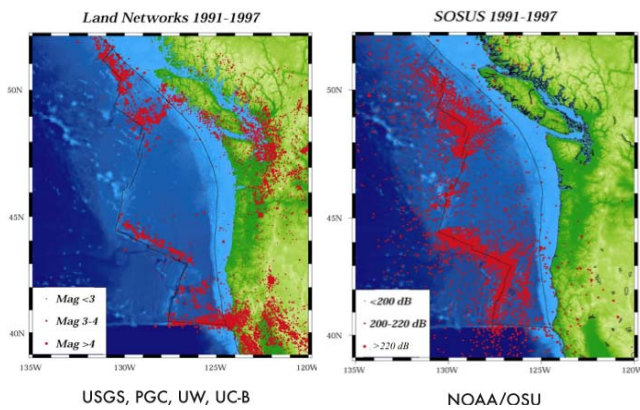


Fig. 2. Tectonic seismicity recorded by land-based seismic networks and SOSUS(Sound Surveillance System). (Left) Observed by USGS, PGC, UW, UC-B seismic networks. 1,792 Juan de Fuca Plate events. (Right) Observed by NOAA/OSU SOSUS hydrophone array. 21,958 Juan de Fuca Plate events (from NOAA/PMEL website).

대되고 있다. 하지만 지구상에서 발생하는 지진발생도를 살펴보면(그림 1), 판경계부(plate boundaries)가 대부분 지구표면의 약 71%를 차지하고 있는 해양에 위치하고 있어 소규모부터 대규모까지 다양한 규모의 지진이 매우 빈번하게 발생되고 있으나, 육상지진의 경우와는 달리 관측범위의 한계로 인하여 그 위치 및 규모 결정에 작지 않은 오차가 발생하게 된다.

이처럼 해양에서 발생하는 지구구조활동을 관측하기 위해서 육상에서 운용하고 있는 지진계와 마찬가지로 해저면에 직접 지진계를 설치하여 운용하는 해저면지진계(Ocean Bottom Seismograph, OBS) 관측과 수중에 수중음향센서(hydrophone)를 설치하여 지진파로부터 변환된 해양 T파 신호를 포착하여 관측하는 수중음향관측(hydroacoustic monitoring) 방법이 널리 이용되고 있다. 해저면지진계를 이용한 관측은 해양지각에서 발생한 지진원의 위치를 깊이 정보까지 정확히 결정할 수 있는 장점이 있으나, 공간적 관측범위의 제약으로 넓은 범위의 지역을 관측하기 위해서는 많은 수의 해저면지진계가 동원되어야만 한다. 이에 반해 수중음향관측은 그림 2에서 보이는 바와 같이 상당히 넓은 지역에서 발생하는 해양지구구조활동을 적은 수의 수중음향센서를 이용하여 육상지진계에서 결정된 진앙 위치에 비해 보다 정확하고 소규모 지진활동 역시 관측할 수 있는 장점이 있다. 이 글에서는 수중음향관측에 관한 간단한 설명과 다양한 응용연구 및 최근 발생한 일본 토호쿠 대지진 관측 결과를 소개하고자 한다.

해양 T파 및 수중음향관측

일반적으로 해양 지질 및 지구물리 연구에 해양 T파를 이용하는 가장 중요한 목적은 지진발생구조 결정, 해저화산 분

출 모니터링, 그리고 해저지진활동이 해저열수 및 해저생물환경에 미치는 영향 등을 이해하는 데 있다.

해안 혹은 섬 등지에 설치된 지진계의 기록 자료를 살펴보면 간혹 지진발생 이후 지진관측소에 가장 빨리 도착하는 P파(Primary wave), 그 다음으로 도착하는 S파(Secondary wave) 이후에 세 번째(Tertiary)로 일련의 신호가 뒤늦게 도착하는 현상이 관찰되는데 이를 해양 T파라고 명명하였다.^[1] 해양 T파의 에너지는 일반적으로 해저면에서의 산란^[2]효과 혹은 해저경사면 전파^[3]를 통하여 지진파가 수중음향파로 전환되어 수심 약 1,000 m 깊이에 SOFAR(SOund Fixing And Ranging) 채널이라는 저속도층에 갇혀 적은 에너지 감쇄로 매우 먼 거리를 효과적으로 전파한다. 해양 T파를 이용한 수중음향관측은 통상 지진학에서 사용해왔던 진원결정에서 비교적 어려움이 있었던 해양에서 발생한 지각활동의 위치결정에 큰 도움을 주고 있다. 특히 대륙기반의 지진관측망에서는 포착되지 않는 미소규모의 지진음의 위치를 결정 가능하게 할 뿐만 아니라, 해저면지진계 관측망과 비교해 볼 때 적어도 10배 이하의 노력만으로도 유사한 결과를 도출할 수 있음이 검증되었다. 지금까지 이루어진 수중음향 관련 연구를 살펴보면, 해양 T파를 이용하여 얻어진 에너지 방출위치(T-phase radiator locations) 결정오차는 수 km 이내로 일반적인 지진관측망을 통해 얻어진 결과와 비교해 볼 때 보다 정확한 위치를 결정함을 알 수 있다(예, Fox *et al.*, 2001^[4]).

Tolstoy and Ewing (1950)^[5]은 원거리 지진에 의해 발생하여 기록된 해양 T파에 관한 최초의 심도 깊은 과학적 해석을 제시하였고, Dietz and Sheehy (1954)^[6]는 해저화산에 의해 생성된 수중음향파 신호를 최초로 발표하였으며, 태평양 분지에서 발생하는 지진 및 화산활동을 Johnson *et al.* (1963)^[7]이 설치한 최초의 수중음향 관측망을 통해 규명하였다. 1991년부터는 미 해군에 의해 설치되었던 SOSUS 수중음향 관측망 자료가 일부 과학자들에게 공개되기 시작하여, Fox *et al.*

REFERENCES

- [1] D. Linehan, *Trans. Amer. Geophys.* **21**, 229 (1940).
- [2] M. Park, R. I. Odom and D. J. Soukup, *Geophys. Res. Lett.* **28**, 3401 (2001).
- [3] J. Talandier and E. A. Okal, *Bull. Seism. Soc. Am.* **88**, 621 (1998).
- [4] C. G. Fox, H. Matsumoto and T. K. A. Lau, *J. Geophys. Res.* **106**, 4183 (2001).
- [5] I. Tolstoy and W. M. Ewing, *Bull. Seism. Soc. Am.* **40**, 25 (1950).
- [6] R. S. Dietz and M. J. Sheehy, *Bull. Geol. Soc. Am.* **65**, 941 (1954).
- [7] R. H. Johnson, J. Northrop and R. Eppley, *J. Geophys. Res.* **68**, 4251 (1963).

(1995)^[8]에 의해 최초의 실시간 수중음향 관측 시스템을 통하여 중앙해령에서 발생한 해저확장 신호들을 관측하였다. 이후 미국해양대기청(National Oceanographic and Atmospheric Administration, NOAA)의 Pacific Marine Environmental Laboratory(PMEL)가 베링해, East Pacific Rise, Lau Basin 등지에 계류형 자율 수중음향관측망(Autonomous Underwater Hydrophone Array)을 설치해 매우 다양한 해저지각활동음 및 해양 T파 등을 관측하였다. 특히 최근 들어 한국 극지연구소와 국제공동연구로 남극반도 인근 및 남스코시아 해역에 수중음향관측망을 계류하여(2005-2010) 브랜스필드 배호분지(Bransfield Back-arc Basin)에서의 지구조활동을 규명하였고, 인근에서 발생하는 빙권관련 신호 역시 관측/분석하였다.^[9]

수중음향관측은 국제 포괄적핵확산방지조약기구(Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization, CTBTO)에 의해서 운영되고 있는 국제관측시스템(International Monitoring System, IMS)에 의해서도 활발히 이루어지고 있다. 수중음향관측 외에 IMS를 구성하는 필수 기술은, 지진파 관측(seismic monitoring), 초저주파음파관측(Infrasound monitoring) 및 방사능핵종관측(Radionuclide monitoring) 등이 있다. CTBTO의 설립 목적상 4가지 관측 구성요소 모두 육상 및 해상 핵실험 관측이 1차 목적이지만, 특히 최근 들어 해상에서의 핵실험은 거의 자취를 감추고 있어, 해양핵실험 관측 외 해양포유류 이동, 빙산의 움직임, 해저 지각활동음 그리고 지진 해일(tsunami) 모니터링 등 다각적인 연구 수행을 하고 있다.

무인 자율 수중음향관측기

이 장에서는 실시간 해양 발생신호 관측이 주목적인 미 해군의 SOSUS 및 CTBTO IMS 수중음향관측망과는 달리 NOAA/PMEL 및 한국 극지연구소가 운용하고 있는 계류형 무인 자율 수중음향관측망(Autonomous Underwater Hydrophone array)에 대해 간략히 살펴보고자 한다.

계류형 무인 자율 수중음향관측망은 해저 광케이블을 이용하여 운용되는 관측망(예, SOSUS)보다 경제적인 측면에서 많은 이로운 점이 있다. 특히 대륙 혹은 섬 등으로부터 멀리 떨어진 지역의 해저 지구조운동의 실시간 관측을 위해서는 상당히 긴 해저케이블이 필요하게 되는데 이는 매우 많은 비용적 부담이 따른다. 이와는 달리 계류형 수중음향관측망은 원하는 지역에 필요한 기간 동안 수중에 계류를 하고, 일정기간이 지나고 나면 연구목적에 따라 설치 위치를 변경하거나 혹은 장기 관측이 요구될 경우에는 배터리 및 저장매체를 교체한 후 재 계류하여 운용하게 된다. 계류형 관측망은 이처럼 경제적, 연구목적 다양성 면에서 많은 장점이 있지만,

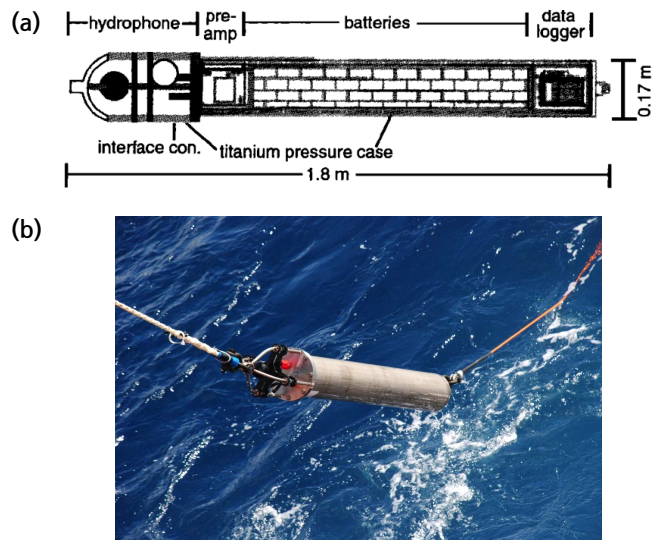


Fig. 3. (a) Diagram of the NOAA/PMEL autonomous hydrophone system.^[4] (b) Recovery of a hydrophone in the Bransfield Strait, Antarctica.

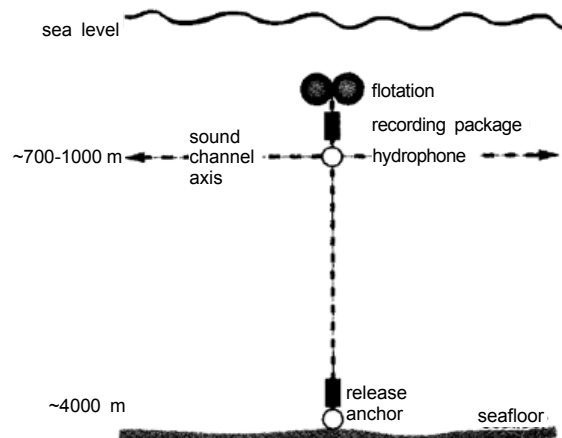


Fig. 4. Diagram of the mooring configuration used to place the hydrophones within the SOFAR channel. The length of cable is matched with the water depth and position of the sound channel at each location.^[4]

계류기간 동안에는 저장된 기록을 분석할 수 없기 때문에 손해를 다투는 실시간 자료 분석적인 측면에서는 어려움이 있다. 그림 3(a)는 NOAA/PMEL에서 개발하여 베링해, Lau Basin, East Pacific Rise 및 극지연구소와 공동운용하고 있는 남극반도 등에서 설치/운영되고 있는 수중음향센서의 내

REFERENCES

- [8] C. G. Fox, W. E. Radford, R. P. Dziak, T. -K. Lau, H. Matsumoto and A. E. Schreiner, *Geophys. Res. Lett.* **22**, 131 (1995).
- [9] R. P. Dziak, M. Park, W. S. Lee, H. Matsumoto, D. R. Bohnenstiehl and J. H. Haxel, *J. Geophys. Res.* **115**, B01102 (2010), doi:10.1029/2009JB006295s.

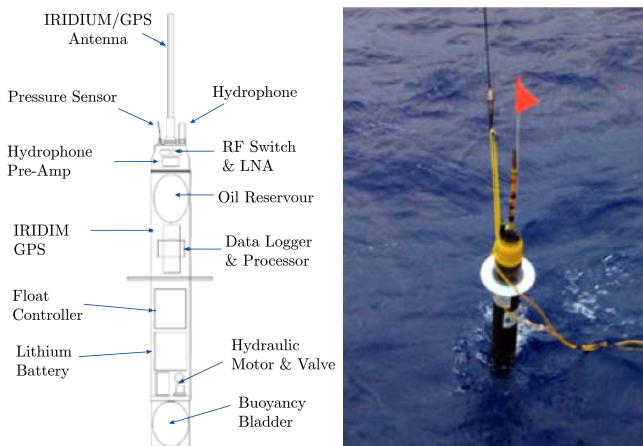


Fig. 5. (a) Diagram of a QUEphone. (b) Operation of a QUEphone in the water.^[10]

부구조도, 그림 3(b)는 남극 브랜스필드에서 실제로 수중음향 센서를 회수하는 모습이다. SOFAR 층이 존재하는 수심 약 1,000 m 위치의 수압을 견딜 수 있도록 티타늄 소재의 견고한 케이싱 안에 초저전력 전자기기가 위치해 있으며, 케이싱 내부 대부분은 장기간 모니터링을 위한 Lithium-ion 배터리 팩이 차지하고 있다. 일반적인 해저지구조 활동을 관측하기 위해 샘플링 주파수는 주로 250 Hz로 설정이 되어 있으며, 해양포유류 등에서 발생하는 신호를 포착하기 위해서는 특별히 1,000 Hz 샘플링 기기가 동원되기도 한다. 계류기간은 연구 목적에 따라 달라지지만, 일반적으로 약 1년 동안 수중에 계류하여 운용한다. 그림 4는 수중에 설치된 계류형 수중음향 관측망 1조의 개요도이다.

수중음향관측 센서가 육상관측소와 해저케이블로 연결되어 실시간 관측이 가능한 SOSUS 관측망이나 CTBTO IMS 관측망의 경우, 자료기록이 GPS 시각과 실시간 동조가 가능한 반면, 계류형 수중음향관측의 경우에는 계류 기간 동안에는 GPS 시각과 동조가 불가능하다. 이 때문에 계류형 수중음향 관측장비 자체의 timing system이 관측 자료를 통한 신호발생 위치 결정에 매우 중요한 역할을 하게 된다. NOAA/PMEL에서 개발하여 운용 중인 수중음향관측기기에는 미 해군에서 사용하고 있는 Q-TECH Clock 기술이 적용되어 1년 동안 계류시 약 1초 미만의 GPS 시각과의 차이를 보일 정도로 정확성을 가지고 있다. 수중에서 음파가 전파하는 속도를 약 1.5 km/s라고 가정한다면 이와 같은 차이가 위치결정 오차에 기여하는 영향은 매우 적다고 할 수 있다.

앞서 기술한 바와 같이 계류형 수중음향관측 시스템은 경제성, 연구 다양성 측면에서 많은 장점이 있지만, 실시간 관측이 어려워 단기간에 지속적인 관측이 필요한 경우를 위한 방안이 꾸준히 요구되었다. 2000년대 후반에 들어 NOAA-

PMEL에서는 계류형 수중음향관측망의 단점을 보완하고자 QUEphone을 개발하였다(그림 5).

그림 5와 같이 QUEphone 기기 자체에 관측자료의 위성전송이 가능한 IRIDIUM 안테나가 장착되어 있어, 일정기간 동안 수중에서 관측을 수행한 후 자료량이 일정 수준을 넘게 되면 해수면으로 QUEphone이 상승하여 자료를 전송한 후 다시 수중으로 투입되어 관측을 계속하게 된다. 자료의 수집은 신호 발생을 자동적으로 포착(주파수 영역이 아닌 시간영역에서 프로세스가 진행되어 저전력 장비 운용이 가능)한 후 저장매체에 기록되게 된다. 이러한 QUEphone의 개발로 보다 다양한 수중음향관측이 가능하게 되었다.

관측된 다양한 수중음향신호

이 장에서는 수중음향관측망에 기록된 해저지각활동음과 해양에서 발생된 각종 다양한 신호에 관해 살펴보고자 한다.

1. 해저지각활동음

해저지각활동음은 그 고유한 특성상 비교적 저주파(< 10 Hz) 대역에 에너지가 주로 집중되어 분포하는 모습을 보여준다. 그림 6은 2006년 8월에 남반구 남샌드위치 군도(South Sandwich Islands) 인근에서 발생한 지진신호가 남극 세종기지 인근 브랜스필드 해협에 설치되었던 계류형 수중음향관측망에 포착된 모습이다. 먼저 지구내부를 통해 멀리 전파된 지진파가 관측센서 바로 아래 위치에서 음향파로 전환이 되어 센서에 기록이 되고, 진앙지에서 음향파로 전환된 해양 T파는 지진파보다 전달 속도가 늦기 때문에 뒤늦게 수중음향센서에 기록된다. 앞서 언급한 바와 같이 수중에서의 음향파 전달은 지구 내부에서의 지진파 전파보다 에너지 감쇄가 매우 적기 때문에 미소규모의 해저지각활동음도 효과적으로 관측할 수 있다.

2. 빙권 신호

극지역에서는 해양저에서 발생하는 지각활동음과 더불어 빙하 및 빙산 등이 이동하면서 발생시키는 빙권 신호가 빈번하게 포착된다. 빙권 신호는 다음과 같은 크게 세 가지 경우에서 주로 발생한다. 1. 주변 기온 상승으로 인한 내부 균열,

REFERENCES

- [10] H. Matsumoto, R. P. Dziak, D. K. Mellinger, M. Fowler, J. Haxel, A. Lau, C. Meinig, J. Bumgardner and W. Hannah, Autonomous hydrophones at NOAA/OSU and a new seafloor sentry system for real-time detection of acoustic events, *Proceedings of IEEE Oceans '06* (2006).

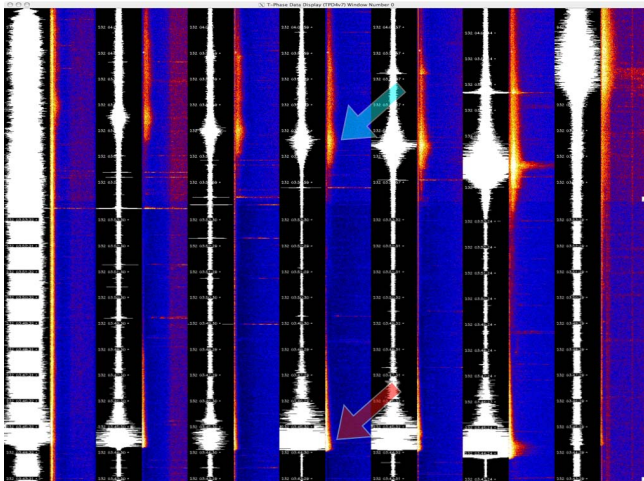


Fig. 6. Earthquake occurred near the South Sandwich Islands on August 20, 2006. Red and blue arrows indicate P wave and oceanic T wave, respectively. Waveforms (white traces) are shown in time domain windows. Time elapses from bottom to top. Spectral characteristics corresponding to each signal are shown at the right panels of each wave trace. A total of 7 hydrophones deployed nearby the Antarctic Peninsula and the Drake Passage, Antarctica.

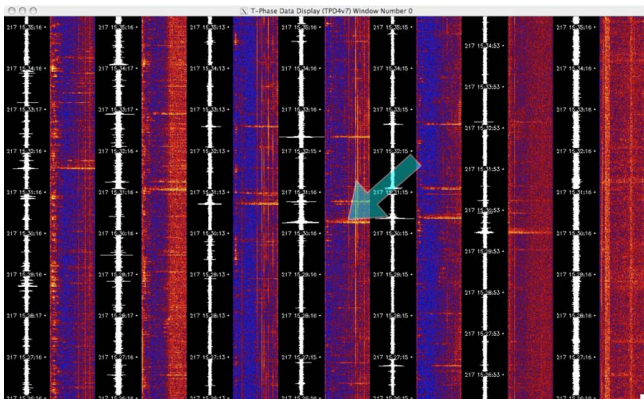


Fig. 7. Cryogenic acoustic signal(blue arrow). It shows a broad-band frequency characteristic in a frequency domain and an impulsive behavior in a time domain.

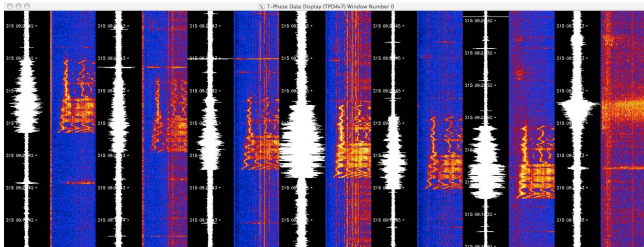
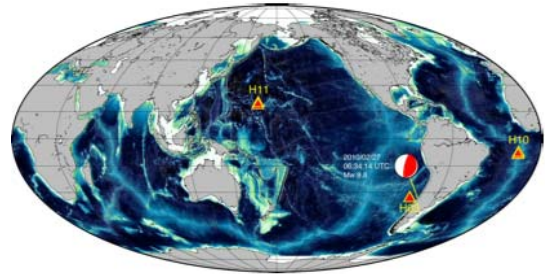
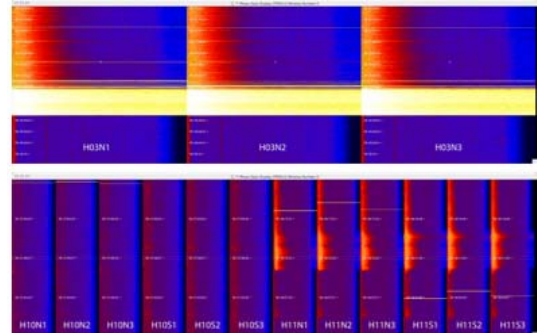


Fig. 8. Iceberg calving signal. A fundamental frequency is ~ 40 Hz.

2. 유빙(floating iceberg) 상호 접촉, 3. 빙하가 중력에 의해 바다 쪽으로 흘러내려가면서, 혹은 빙산이 해류로 인해 이동하다 수심이 얇은 지역에 도달하여 생기는 기저면과의 마찰



(a)



(b)

Fig. 9. (a) Location of CTBTO IMS hydroacoustic arrays (H03, H10, H11) marked by triangles. Focal mechanism of the earthquake represented by a beach ball (thrust fault). (b) (top) P wave generated by the earthquake is detected by H03. Amplitude of P wave is immediately saturated since the shake is too big to be recorded. The station has been shut down just right after the quake. (bottom) Hydroacoustic observation by H10 and H11. T wave is not able to reach the H10 station since the South America blocks wave propagation, while H11 clearly detected T waves generated by the quake.

등을 들 수 있다. 1, 2번의 경우에는 그림 7과 같이 주파수 특성이 광역적으로 나타남을 관찰할 수 있고, 3번 경우에는 그림 8에서처럼 마치 약기에서 발생하는 아름다운 배음이 관찰되기도 한다. 때로는 2번의 경우에도 빙산 내부에 균열 혹은 공간이 존재할 경우 배음 신호가 발생되기도 한다.

3. 2010년 2월 27일 칠레 대지진(규모 8.8)

칠레에서는 1960년 5월 22일, 1900년 이후 기록된 전 세계 지진 가운데 가장 큰 규모인 규모 9.5 지진이 발생하였으며, 이때 발생한 지진해일(tsunami)은 태평양을 건너 지구 반대편에 위치한 일본 동부 해안까지 도달하여 많은 인명피해를 가져오기도 했다. 이 지역에서는 나즈카 판(Nazca plate)이 남아메리카 판(South American plate) 아래로 섭입을 하면서 남북방향으로 긴 지역에서 크고 작은 규모의 지진이 매우 빈번하게 일어나고 있다. 2010년 2월 27일 발생한 규모 8.8 지진은 1900년 이후 일어난 지진 가운데 6번째로 큰 지진이며 수백 명의 사상자와 수십억 불의 경제적 손실이

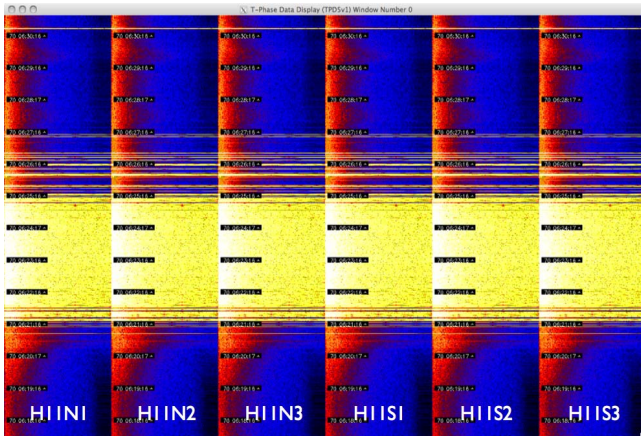


Fig. 10. T waves generated by the 2011 Tohoku earthquake were detected by H11. A lot of aftershocks associated with the quake subsequently occurred and were recorded.

발생하였다. 그림 9(a)는 칠레에서 발생한 지진의 진앙지(thrust 단층을 나타내는 비치블)와 CTBTO IMS에서 운용하고 있는 여러 관측망 중 해양 T파 자료 분석을 위해 수집된 세 개의 수중음향관측망의 위치를 보여준다. 칠레 앞 바다 Juan Fernandez (H03) 관측망에 기록된 자료를 살펴보면(그림 9(b) 위), 지진 발생 직후 육상까지 수중 광케이블로 연결된 수중음향관측망이 소실되었고 지진해일이 관측 자료가 수집되는 육상 관측소를 휩쓸어 그 일대가 완파되어 더 이상 자료 수집이 불가능한 상황에 이르렀다. 멀리 위치해 있는 하와이 수중음향관측망(H11, 그림 9(b) 아래, H11N1, H11N2, H11N3, H11S1, H11S2, H11S3)에는 대지진에 의해 발생한 해양 T파가 선명하게 기록되었다. 해양 T파는 수층을 통해서만 전파되기 때문에 남미 대륙으로 가려져 있는 대서양 수중음향관측망(H10)에는 신호가 포착되지 않았다.

4. 2011년 3월 11일 일본 토호쿠 대지진(규모 9.0)

최근 일본 토호쿠 지역 앞바다에서 발생한 규모 9.0 대지진 및 이에 수반된 지진해일의 영향으로 현재까지 수만 명의 사상자가 발생하였으며, 3,000억 불이 넘는 상상을 초월한 경제적 손실이 발생했다. 지진재해가 잦은 일본에서는 1995년 1월 17일에 발생한 한신대지진 이후 각종 건축물의 내진 설계가 강화되고, 체계적인 대국민 지진재해 대비 훈련이 이루어져 지진 자체에 의한 피해는 비교적 크지 않은 반면, 진앙지가 육상에서 그리 멀리 떨어지지 않아(약 70 km) 이로부터 발생한 지진해일이 순식간에 해안지대를 강타하여 예상치 못한 엄청난 인명피해를 가져왔고, 후쿠시마 현에서 가동 중이었던 원자력 발전소마저 붕괴되는 등 사상 초유의 대재앙이 발생하였다. 그림 10은 H11 수중음향관측소에 기록된 해

양 T파 신호를 보여준다. 약 3 - 4분간 매우 큰 에너지가 지진에 의해 방출되었음을 관찰할 수 있다. 이 후로도 계속적인 여진의 신호가 명확하게 해양 T파로 전달되어 기록되었다.

토 의

과학기술의 눈부신 발전과 더불어 지진계측장비 성능 향상과 관련 분석 기술의 비약적 발전으로 지진과 연관된 많은 궁금한 점들이 해결되었다. 사회, 경제적으로는 지진재해로 인한 피해를 상당히 경감시키는데 큰 도움이 되었고, 과학적으로는 보다 정밀한 지구내부 구조를 파악할 수 있게 되었다. 하지만 대규모 인구 밀집 지역이 육상에 위치해있고 운용상 어려움으로 인하여, 대부분의 지진관측망이 대륙에 집중되어 있음은 주지의 사실이다. 지구의 표면은 마치 잘 짜여진 퍼즐처럼 판과 판이 정교하게 맞물려 있으며, 판경계부에서는 판의 생성과 소멸이 태초의 시기부터 지금까지 쉬 없이 계속되고 있다. 물론 지진은 판내부(intraplate)에서도 발생하지만(예, 1811-1812년 발생한 미국 뉴 마드리드 지진), 대부분의 지진은 판경계부에서 발생(interplate earthquakes)하며(그림 1), 이러한 판경계부는 주로 해양저에 위치해 있다. 따라서 지진에 관한 정확한 이해를 위해서는 해양저에서 발생하는 지각 활동에 대해 보다 다양하고 정밀한 연구가 요구된다.

수중음향관측기술은 육상 지진관측망에서 미처 포착하지 못한 미소 규모의 해저지각활동의 관측 및 보다 정확한 진앙위치결정을 가능하게 하였으며(그림 2), 지진 연구 외에도 최근 급속도로 진행되고 있다고 알려진 전 지구적 온난화에 따른 극지역 기후환경변화 관측 및 해양 포유류의 서식, 이동 등에 관한 다양한 다학제적 연구 수행에 귀중한 자료를 제공하고 있다. 또한 2010년 칠레 및 2011년 일본 토호쿠 대지진에서 관측된 바와 같이, 제트 항공기 운항 속도와 비슷한 약 950 km/h로 이동하는(수심에 따라 이동속도가 달라짐) 지진해일보다 빨리 도착하는 해양 T파(약 1.5 km/s = 5,400 km/h)를 이용한 지진해일 위험성/재해평가가 가능하다면, 지진해일에 의한 재난 경감에도 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

물리학, 지진학 등 다른 학문 및 기술에 비해 비교적 짧은 역사를 가지고 있는 수중음향관측기술은 경제성, 연구 다양성 등의 측면에서 많은 강점을 가지고 있다. 향후 꾸준한 장비의 개발 및 분석 기술의 발달이 함께 이루어진다면, 다른 분야 학문/기술과 서로 상보적 효과를 기대할 수 있으며, 독창적인 연구 성과 또한 도출할 수 있을 것이라 믿어 의심치 않는다.

이 연구는 극지연구소 연구과제 PM10030, PP11010, PE10170, PE11070의 지원 하에 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.