

무선 탄성과 탐사 시스템

이동훈 · 김병엽 · 장성형*

한국지질자원연구원 석유해저연구본부

Cable-free Seismic Acquisition System

Donghoon Lee, Byung-Yeop Kim, and Seonghyung Jang*

Petroleum & Marine Resources Research Div., KIGAM

요약: 무선 탄성과 탐사 기술은 각 노드들이 케이블로 연결되지 않은 독립적인 수신기를 활용하여 탄성과 자료를 취득하는 것을 말한다. 이 기술은 지형조건에 영향을 적게 받아 다양한 측선설계를 적용할 수 있다. 또한 수신기 설치와 수거가 간편하고 무선 수신기 관련 장비기술 발전으로 자료품질도 양호하여 최근 육상 석유탐사 자료취득에 활용되기 시작하였다. 여기에서는 무선 탄성과 탐사 시스템과 시스템을 구성하는 장비의 특성을 살펴보고 현장적용 실험을 통해 무선 탄성과 탐사 기술을 소개하고자 하였다. 탄성과 토모그래피 현장적용 실험에서 음원으로부터 같은 거리에 있는 무선 수신기와 유선 수신기에 기록된 탄성과 신호음을 비교해보면 초기 위상이 일치하고 초동 차이가 0.4 ms 정도로 두 수신기에서 신호음이 거의 일치함을 알 수 있었다. 무선 탄성과 탐사 기술을 이용한 반사와 탐사 현장적용 실험에서는 발파공 깊이와 화약량에 따른 시험발파를 수행하고 음원모음을 취득하여 유선 탄성과 탐사에 의한 음원모음과 비교하여 유사한 결과를 확인하였다. 무선 탄성과 기술은 수신기 설치의 간편성, 탐사 측선 설계의 용이성으로 인하여 그 활용 가능성이 증가할 것으로 여겨진다.

주요어: 무선 수신기, 탄성과 탐사, 석유탐사, 육상 탄성과 탐사, 탄성과 토모그래피

Abstract: Cable-free seismic technology is to acquire seismic data with independent receivers which are not connected by cables. This is an effective method for survey designs with less topographical conditions. With technology advancement for cable-free receivers, reliable data quality, easy deployment, and picking up the receivers, the cable-free technology has begun to apply to land seismic acquisition. In this study we introduced a cable-free seismic system and its equipment. We tried to build up the cable-free seismic technology through the field application. In the seismic tomography field applications, the seismic signals of the cable-free receiver and cabled receiver with the same distance from the source show the same phase in early stage. The difference of the first arrival times between two signals is less than 0.4 ms, which could be accepted. In the field application for seismic reflection exploration, we acquired shot gathers with different source depth and dynamite charge. The shot gathers from cable-free and cabled system are similar to each other. With an efficient method for receiver deployment and survey design, the application of the cable-free technology will increase.

Keywords: cable-free, seismic exploration, hydrocarbon exploration, land seismic, seismic tomography

서론

1920년대 탄성과 탐사가 시행된 이래 탄성과 자료취득 기술은 주로 수신기와 수신기가 케이블로 연결된 전통적인 유선

탄성과 탐사기술을 주로 활용한다. 최근 다중방위(Mahmoudian *et al.*, 2015; Swanston *et al.*, 2011), 다성분(Grechka *et al.*, 2005; Sanchis and Elboth, 2014), 3D 탐사(Gharibi *et al.*, 2012; Jeong and Suh, 2006; Naghizadeh, 2015), 탄성과 모니터링(Kim *et al.*, 2011; Stammeijer and Hatchell, 2014; Yin *et al.*, 2015) 등 다양한 자료취득 기술요구와 산악지형, 삼각주 지역, 육상과 해상 경계지대 등 다양한 지형조건에서 적용할 수 있는 탄성과 탐사기술 수요가 증가하고 있다(Lansley, 2013). 수신기와 수신기가 케이블로 연결되지 않는 독립된 수신기를 사용하는 무선(Cable-free) 탄성과 탐사기술은 다양한 탐사기술과 다양한 지형조건에서 탐사측선 설계가 가능하고 또한 수신기 설치와 수거가 편리한 장점이 있다(Freed, 2008). 일반적으로 무선 탄성과 탐사기술은 현장에서 탄성과 음원 송

Received: 16 August 2016; Revised: 30 August 2016;

Accepted: 30 August 2016

*Corresponding author

E-mail: shjang@kigam.re.kr

Address: Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, Petroleum and Marine Division, 124 Gwahak-ro Yuseong-gu, Daejeon, 34132, Korea

©2016, Korean Society of Earth and Exploration Geophysicists

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

신 직후 i) 현장에서 근거리 무선통신을 이용하여 그 자리에서 직접 자료품질을 확인할 수 있는 경우와 ii) 수신기에 기록된 탄성과 신호음을 자료취득 종료 후 근거리 무선통신 또는 유선 네트워크를 이용하여 자료를 전송하고 자료품질을 확인하는 경우로 나눌 수 있다(Heath, 2008). 근거리 무선통신을 이용하는 시스템의 경우 현장에서 자료품질 점검이 가능하여 송신음원 조절, 수신기 이득 조절 등 음원 송신변수와 수신기 기록변수를 그 자리에서 변경하고 결정할 수 있는 반면 무선 네트워크 기술과 장비도 동시에 필요하다. 두 번째 무선탄성과 시스템의 경우 현장에서 자료품질을 확인할 수 없어 음원 송신변수 변경이 불가능하다는 단점이 있지만 무선통신 시스템을 별도로 확보할 필요가 없고 자료 손실률도 1~2% 미만으로 알려져 사용이 증가하고 있다(Heath, 2008). 무선 탄성과 탐사는 1970년대에 시작하였으나 당시 기술한계로 활성화 되지 못했다. 무선 시스템에는 대용량 메모리, 허가가 필요하지 않은 주파수 대역에서 무선통신기술, 리튬 배터리, A/D 변환장치, 수신기 설치 장비 등이 필요하다(Crice *et al.*, 2014). 유선 탄성과 탐사에서 가장 큰 어려움은 장비 규모를 들 수 있다. 일반적인 3차원 육상탐사에서 한 측선에 수신기를 5~30 m 간격으로 1,000~2,000개 설치할 때 수신기 밀도는 km^2 당 2,000~3,000개의 수신기가 필요하고 케이블 길이는 약 150 km 이상이 되어 상당한 무게가 된다. 무선 수신기를 활용할 경우 케이블 무게가 20% 정도로 줄어들게 되어 비용을 절감할 수 있다(Savazzi and Spagnolini, 2008). 무선 탄성과 기술을 석유탐사에 적용한 사례로 2013년에 이라크 쿠르디스탄

(Kurdistan) 지역 탐사를 들 수 있다. 이곳에서는 270 km^2 규모로 3차원 탐사를 수행하여 석유를 찾아낸 사례로 이때 무선 수신기 8,000개를 설치하였으며 활성 자료기록 수신기(Live channel)는 6,000개로 설정하였다. 2013년 알래스카 쿡 인렛(Cook Inlet) 분지에서는 $2,719 \text{ km}^2$ 규모로 무선 탄성과 기술을 활용하여 2D 및 3D 탐사를 수행하였다(Yates and Adiletta, 2013). 쿡 인렛 탐사의 경우 육상과 해상 천이지대에서 다중방위 탐사를 수행하여 탐사대상 지역에서 전체 파동장을 구할 수 있었다. 또한 뉴질랜드 타라나키(Taranaki) 분지 엘탐(Eltham)과 알톤(Alton) 육상에서 100 km^2 규모 무선 탄성과를 실시하였다(Ritchie, <http://www.energystream.co.nz>). 여기에서는 무선 탄성과 시스템과 시스템을 구성하는 장비 특성을 살펴보고 탄성과 토모그래피 탐사(Moon *et al.*, 2008)와 탄성과 반사파 탐사에 대한 실제 현장적용 실험을 통해 무선 탄성과 기술을 확립하고자 한다.

무선 탄성과 탐사 시스템

한국지질자원연구원에서는 최근 육상 석유탐사에 활용되기 시작한 무선 탄성과 기술을 개발하기 위해 2015년 무선 탄성과 탐사 시스템을 도입하였다. 무선 탄성과 탐사 시스템은 크게 중앙제어 장치, 송신부, 무선 수신기 부분으로 나눌 수 있다(Fig. 1). 중앙제어 장치 부분은 탐사측선 좌표, 무선 수신기 위치, 송신원 위치 등 탐사설계 변수를 결정하고 송신음원을 제어한다. 송신부에서는 송신신호를 보내고 이때 범 지구 위치

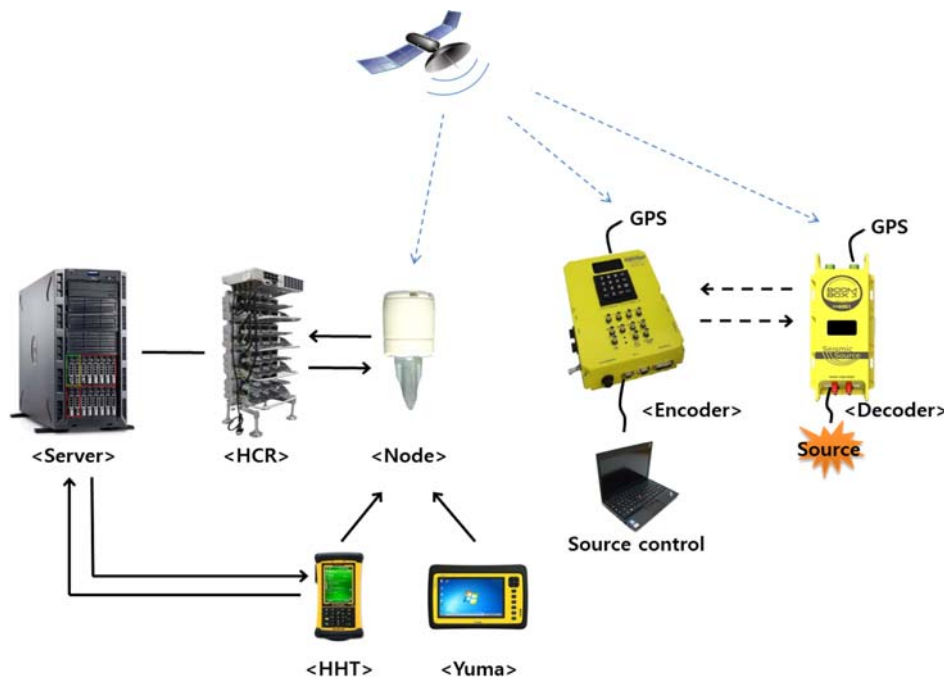


Fig. 1. A schematic diagram for cable-free seismic system. Basically it is consisted of 3 parts, which are control center (server), shooting part (encoder/decoder), and cable-free receivers.

시스템(Global Positioning System: GPS) 시간을 기록하는 역할을 한다. 무선 수신기 부분은 탄성과 신호음을 기록하는 역할을 한다. 무선 탄성과 시스템은 페어필드 노달(FairField Nodal) 사 제품이다. 여기에서는 각 부분별 장비 특성과 역할을 살펴보고 무선 탄성과 기술을 활용한 육상 탄성과 자료취득 과정을 알아본다.

중앙제어장치 서버

탐사지역 측선이 정해지면 수신기 위치, 음원 위치, 자료취득 변수를 입력하고 이때 측선내 각각의 수신기 및 음원 위치는 UTM (Universal Transverse Mercator) 좌표로 변환하여 입력한다. 음원, 수신기 위치는 시스템 내에 지리정보시스템(Geographic Information System: GIS) 지도와 연동시켜 설계된 측선 정보를 확인할 수 있다. 또한 활성화된 GIS 지도를 이용하여 휴대용 단말기에 설계된 위치 정보를 전송한다. 자료취득을 마치면 무선 수신기에 기록된 탄성과 자료를 전송받아 저장한다.

휴대용 단말기(Hand Held Terminal: HHT)

중앙제어장치 서버에서 설정한 음원과 수신기 위치정보는 휴대용 단말기 HHT (Fig. 1)에 전송한다. 무선 수신기를 정해진 탐사 측선위치에 설치한 후 HHT와 수신기를 연결하여 수신기가 설계된 위치에 정확하게 설치되었는지 GPS 신호를 이용하여 확인한다. 설계된 수신기 위치와 실제 설치된 수신기의 위치가 다를 경우 GPS 신호를 이용하여 위치 보정을 할 수 있으며, 설치된 수신기가 자료를 기록할 수 있게 기록모드로 전환시켜주는 장치이다.

인코더(Universal Encoder II), 디코더(Boombox)

인코더 장치(Fig. 1)는 탐사를 수행할 때 음원 송수신을 제어하는 장치로써 GPS 안테나, 휴대용 컴퓨터, 무전기와 연결된다. 디코더에 해당하는 붐 박스는 화약을 전용으로 사용하는 장비로써 뇌관과 연결하여 송신신호를 전달한다.

무선 수신기(Node Geophone)

무선 수신기(Fig. 2)는 고유 주파수가 10 Hz인 다이내믹 테크놀로지 솔로(Dynamic Technology SOLO) 사의 진동센서가 장착되어 있다. 상부에 GPS 장치, 8 GB 메모리칩이 설치되어



Fig. 2. A cable-free receiver which has 10 Hz natural frequency geophone with sensitivity of 80 V/m/s, GPS unit with 2.5 m accuracy and timing accuracy 99% less than 60 ns, 8 GB memory, and Li-Ion battery.

있으며 중간 부분에 리튬 배터리가 장착되어 있다. 외부상단에는 휴대용 단말기, 자료전송 충전 랙에 연결할 수 있는 단자가 있다. 대표적인 무선 수신기의 모습은 Fig. 2에 있다. 배터리는 5°C ~ 40°C 사이에 정상 작동되므로 적당한 온도를 유지한 후 자료 전송 및 충전을 시도하는 것이 바람직하다. 실제로 영하의 온도에서 수신기를 충전할 경우 많은 시간이 필요하다. GPS 신호는 시간조절 능력이 99% < 60 nano 이며, 완전 충전에서 방전까지 2 ms로 자료를 기록할 경우 최대 36일 동안 자료기록이 가능하다. 영하 20°C 이하에서는 배터리 성능이 떨어져 18일간 사용할 수 있는 것으로 알려졌다. Table 1은 수신기 상단에 있는 LED 램프 신호에 대한 수신기 상태를 보여준다. 여기에서 사용한 무선 수신기는 현장에서 자료품질 상태를 확인할 수 없는 장비로 반복적인 LED 램프 신호로부터 위성신호 수신여부, 자료기록 활성화 상태, 장비 정상작동 여부 등을 확인할 수 있다. 수신기는 일반 유선 지오폰에 비해 지표면에 닿는 면적이 넓어 설치가 불편한 편으로 설치방식은 크

Table 1. Node LED blink codes for verification of each node status (FairFieldNodal, 2014).

LED Off	Asleep
1 blink every 4 seconds	Low power mode
1 long blink every 4 seconds	Low power mode. Node received acquisition parameter and is ready to record
1 long blink every second	GPS power on and waiting for GPS to start recording
2 blinks every 4 seconds	Acquiring data
3 blinks every 4 seconds	Acquiring data without GPS
4 blinks every second	Node in error state



Fig. 3. 3 types of node deployment. The node depends on the condition of the surface and needs tight coupling for reducing noise.

게 3가지로 형태를 들 수 있다(Fig. 3). 수신기 설치 시 설치 지점의 토질 특성에 따라 수신기가 고정되지 않을 경우 자료 취득 시 잡음이 발생하므로 자료품질의 저하를 막기 위해 수신기를 최대한 지표면과 밀착되게 설치해야 한다.

자료전송 충전 랙(Harvest Charging Rack: HCR)

자료전송 충전 랙은 무선 수신기를 충전하고 기록된 자료를 서버로 전송하는 역할을 하는 장치이다(Fig. 1). 1개 모듈은 가로 54.6 cm, 세로 48.3 cm 높이 41.4 cm 크기이며 무게는 55 kg이다. 현재 도입된 장비는 4개 모듈로 구성되어 있고 상단에 파워 모듈을 포함하여 가로 54.6 cm, 세로 48.3 cm, 높이 203.2 cm이며 무게는 121.6 kg, 소비전력은 3300 W이다. 현장에서 자료취득이 끝난 후 모든 수신기는 HCR에 연결하고 자료전송을 시작한다. HCR과 수신기는 근거리 네트워크 통신을 이용하여 서버로 자료전송을 시작한다. 송신 GPS 시간부터 설정한 최대 기록시간(record length)까지 기록된 자료를 추출하여 공통 수신기 모음(common receiver gathers) 기록 자료를 공통 음원모음(common shot gathers)으로 변환하여 서버에 저장한다.

무선 탄성과 시스템 자료 취득 과정

무선 탄성과 탐사 시스템을 이용하여 자료를 취득하는 과정은 다음과 같다(Fig. 4). 첫 번째로 탐사 대상 지역에 대한 측선을 설계하고 좌표를 측량하여 측선정보를 SPS (Shell Processing Support) 파일로 작성한다. SPS 파일은 R (Receiver) 파일, S (Source) 파일, X (Cross reference) 파일로 구성된다 (SEG technical standard committee, 1995). 대표적인 S 파일, R 파일, X 파일은 Table 2에 있다. 파일 속성에는 측선번호, 수신기 배열 번호 및 음원 배열번호, 수신기 및 음원의 위치좌표(UTM 좌표), 고도 정보가 포함되어 있다. 측선정보를 확인

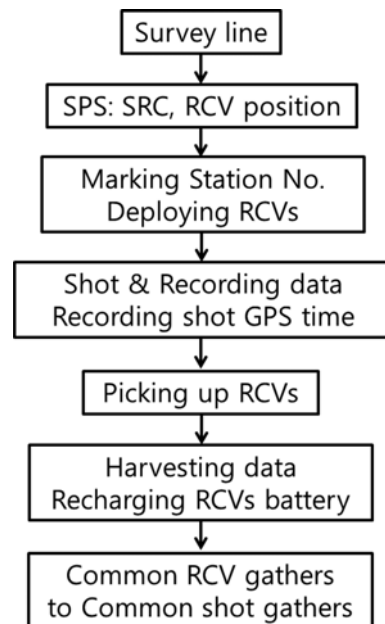


Fig. 4. A flow chart for operating cable-free seismic system. SPS stands for Shell processing support, RCV for receiver, and SRC for source.

하고 나면 탄성과 신호음 기록간격(0.5 ms, 1 ms, 2 ms), 기록 시간 등 자료취득 변수, 음원의 종류(화약, 바이브로사이스, 해머)를 설정할 수 있다. 측선정보 확인이 끝나면 GIS 지도를 이용하여 설계된 수신기의 위치, 음원의 위치를 최종 확인할 수 있다. 확인 후 측선정보를 다시 휴대용 단말기에 전송하여야 한다. 이 과정은 휴대용 단말기에 입력된 측선 정보와 GPS 신호를 이용하여 수신기를 설치한 후에 수신기가 설계된 위치에 실제로 설치가 되었는지 확인하고, 위치 보정을 하고 동시에 수신기를 기록모드로 바꿔주는 역할을 한다. 수신기가 기록모드로 활성화되면 인코더와 디코더를 이용하여 음원 송신을 실시하여 자료를 취득한다. 수신기를 기록모드로 전환하면 수신

Table 2. An example of SPS file which includes receiver, source location, and elevation.

Receiver file

Rev. Line No.	Station No.	Easting	Northing	Elevation
R15	1214	666282.1	2392066.0	296.3
R15	1215	666263.4	2392058.6	289.2
R15	1216	666244.8	2392051.6	290.5
R15	1217	666226.1	2392043.9	291.2
R15	1218	666207.6	2392036.9	291.5
R15	1219	666189.0	2392029.6	297.9
R15	1220	666169.7	2392022.4	310.5
R15	1221	666152.1	2392014.7	310.6
R15	1222	666133.1	2392007.7	298.9
R15	1223	666114.5	2392000.4	297.1
:	:	:	:	:

Source file

Shot Line No.	FFID	Easting	Northing	Elevation
S15	1001	666282.1	2392066.0	296.3
S15	1002	666263.4	2392058.6	289.2
S15	1003	666244.8	2392051.6	290.5
S15	1004	666226.1	2392043.9	291.2
S15	1005	666207.6	2392036.9	291.5
S15	1006	666189.0	2392029.6	297.9
S15	1007	666169.7	2392022.4	310.5
S15	1008	666152.1	2392014.7	310.6
S15	1009	666133.1	2392007.7	298.9
S15	1010	666114.5	2392000.4	297.1
:	:	:	:	:

Relation file

Index	Record Inc.	Inst. code	Shot line	Shot FFID	Index code	Start Ch.	End Ch.	Rev. Line	Start rec. point	End rec. point	Rec. point index
X15	1	1	15	1001	1	1	96	15	1214	1309	1
X15	1	1	15	1002	1	1	96	15	1214	1309	1
X15	1	1	15	1003	1	1	96	15	1214	1309	1
X15	1	1	15	1004	1	1	96	15	1214	1309	1
X15	1	1	15	1005	1	1	96	15	1214	1309	1
X15	1	1	15	1006	1	1	96	15	1214	1309	1
X15	1	1	15	1007	1	1	96	15	1214	1309	1
X15	1	1	15	1008	1	1	96	15	1214	1309	1
X15	1	1	15	1009	1	1	96	15	1214	1309	1
X15	1	1	15	1010	1	1	96	15	1214	1309	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

기는 그 시점부터 모든 신호음을 계속 저장한다. 인코더를 이용하여 음원 송신명령을 수행하면 디코더에 연결된 음원소스가 음원을 발생하게 한다. 모든 수신기와 인코더, 디코더는 GPS 신호를 이용하여 작동하고 음원송신이 끝나면 자료취득이 종료된다. 종료 후 서버에 휴대용 단말기를 연결하여 기록모드로 변경한 수신기 정보를 서버와 동기화하여 수신기 정보를 업데이트 하고, 인코더에서 생성되는 음원송신 GPS 시간을 SBS (Shot By Shot) 파일로 저장하여 서버에 전송한다. 수신기를 자료전송 및 충전 랙에 연결하여 음원 송신이 이루어진 GPS 시간부터 설정한 자료기록 시간 만큼 자료를 추출한다(Fig. 5). 공통 수신기모음 상태로 된 자료는 공통 음원모음 자료로 변환되어 SEG2 형태로 저장된다.

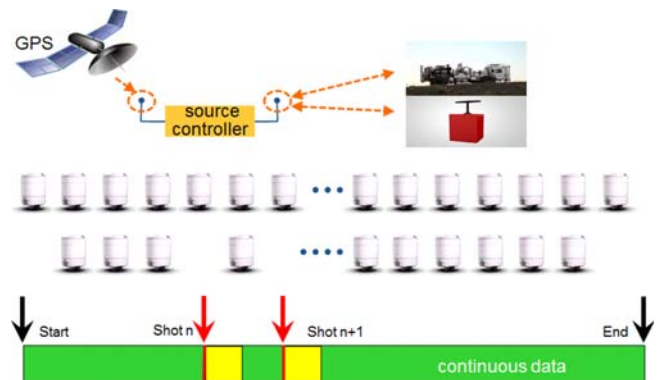


Fig. 5. Display how to get shot gathers from each node (FairFieldNodal, 2014).



Fig. 6. Overview of survey line and marked station numbers for seismic tomography. The line crosses 2 roads and the elevation range is 141 m to 304 m (Google Earth).

현장 자료취득 실험

무선 탄성과 시스템은 지형조건에 영향을 적게 받고 탐사 설계를 다양하게 할 수 있는 장점이 있는 반면 현장에서 자료 품질을 실시간으로 확인할 수 없는 단점도 지니고 있다. 여기에서는 산악지역 탄성과 토모그래피 탐사를 통해 무선 수신기 성능실험을 수행하고 석유탐사를 목적으로 무선 탄성과 탐사 현장적용 실험을 수행하였다.

현장적용 실험: 탄성과 토모그래피 탐사

무선 탄성과 탐사 시스템의 성능과 유/무선 수신기 특성을 파악하기 위해 산악지역에서 탄성과 토모그래피 탐사를 수행하였다. 탐사축선은 2개의 도로를 통과하는 지역으로 지표면 고도차가 최저 141 m에서 최고 304 m까지 분포하고 있다 (Fig. 6). 전체 축선길이는 2.8 km, 수신기 간격은 40 m씩 총

71개의 무선 수신기를 설치하였다. 유선 수신기는 53번째 무선 수신기 위치(2,080 m)에서 시작하여 10 m 간격으로 24개를 설치하였다(Fig. 7). 음원 시추공은 무선 수신기 45번째와 46번째 수신기 사이 지점(1,856 m)에서 깊이 230 m 지점에서부터 10 m씩 상승하여 21개의 음원송신을 발생하여 자료를 취득하였다. 유선 및 무선 탄성과 탐사에 자료취득 변수는 Table 3에 있다. Fig. 8은 210 m 발파공 심도에서 187.5 g 화약을 사용하여 송신하였을 때 2,080 지점에서 유선 수신기(8 번째 유선 수신기)와 무선 수신기(무선 수신기 53번째)에 기록된 탄성과 신호음이다. 그림에서 보듯이 진폭의 크기는 다르나 두 신호음의 위상은 일치하고 초동은 각각 유선의 경우 88.3 ms, 무선 수신기의 경우 87.9 ms로 0.4 ms 정도 차이가 난다. 이때 사용한 유선 탄성과 장비는 지오메트릭스 지오드 24채널이며 지오폰 고유 주파수는 4.5 Hz이다.

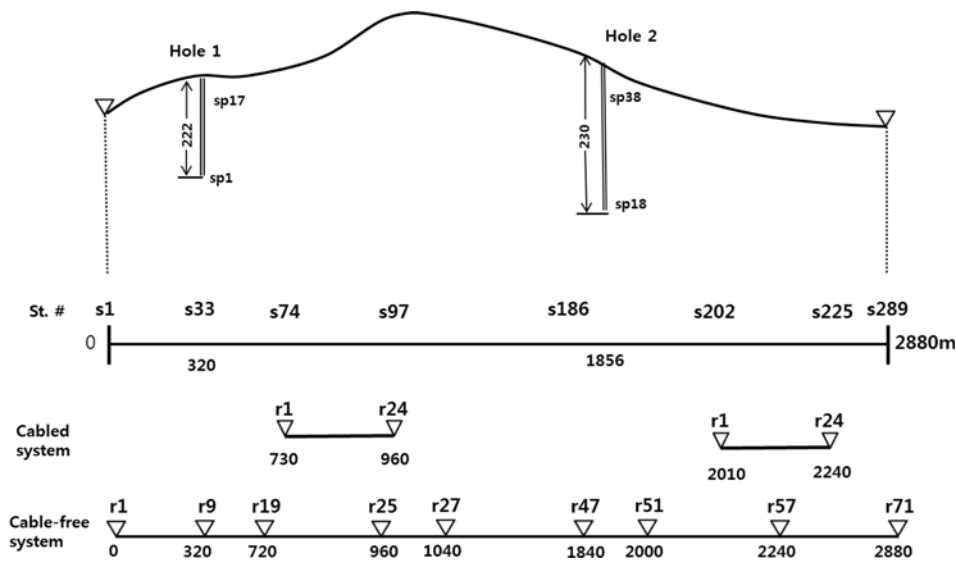


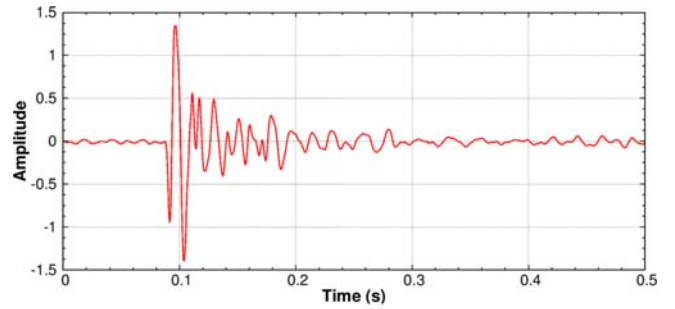
Fig. 7. A schematic overview of survey line and receiver positions for cable-free and cabled system.

Table 3. Acquisition parameters for seismic tomography.

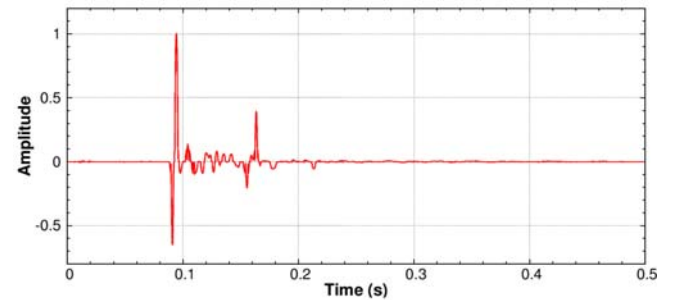
Hole	No. of receivers	Receiver interval (m)	Sampling rate (ms)	Record length (s)	Source location
Cable-free system	71	40	0.5	5	Hole 2 210 m
Cable system	24	10	0.0625	0.5	Hole 2 210 m

현장적용 실험: 탄성과 반사법 탐사

한국지질자원연구원에서 구축한 무선 탄성과 시스템을 석유 탐사 현장실험에 적용하기 위해 미얀마 레판도 지역에서 자료 취득을 수행하였다. 자료취득은 미얀마 국영석유회사(Myanmar Oil & Gas Enterprise: MOGE)의 협조를 받아 진행하였다. 자료취득변수 설정을 위해 수진기 100개를 20 m 간격으로 설치한 후 깊이 6 m, 9 m, 12 m 발파공을 2개씩 천공하였다. 음원은 발파공 깊이별로 1 kg와 2 kg를 장약하여 6개를 준비하였고 첫 번째 수진기와 음원의 거리를 10 m로 설정하여 자료를 취득하였다. 이때 자료기록 간격은 1 ms이며 기록은 5 s까지 기록하였다. Fig. 9는 음원모음 결과를 보여준다. 그림에서 (a)는 발파공 깊이가 6 m일 때, (b)는 발파공 깊이가 9 m, (c)는 발파공 깊이가 12 m일 때 각각 화약량을 1 kg, 2 kg씩 사용하여 구한 음원모음이다. 본 그림은 원시 음원모음 자료에 대역필터(10-20-89-90 Hz)를 수행하고 진폭을 보정하여 도시

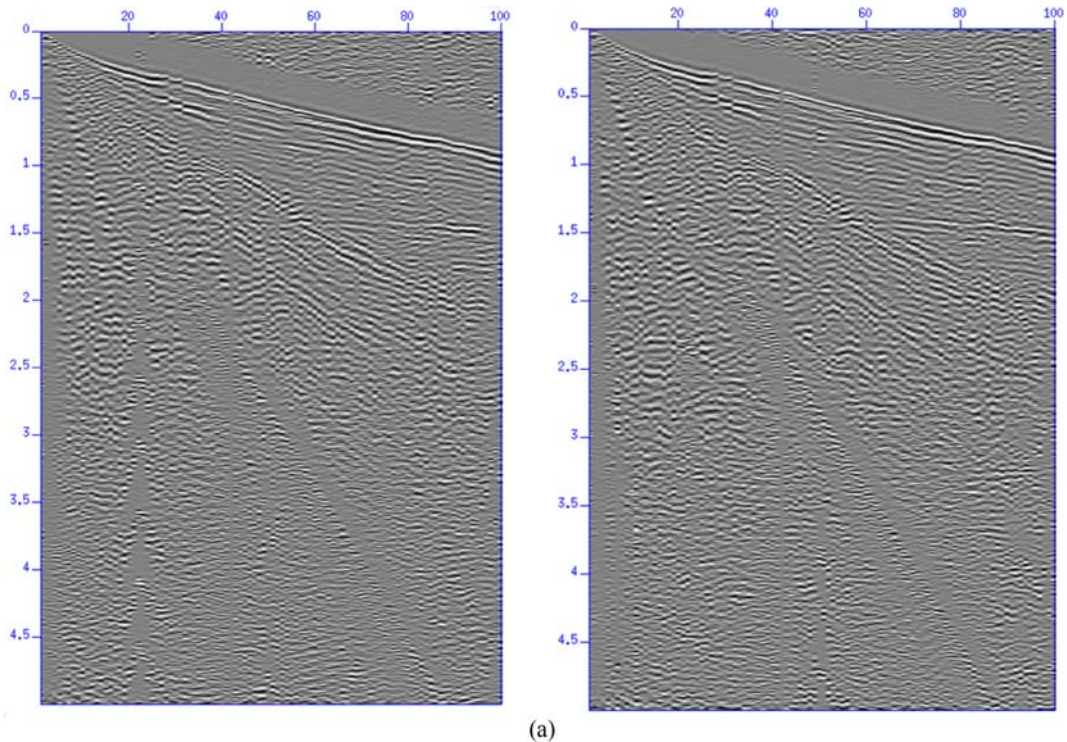


(a) Signal at the 53rd receiver of cable-free seismic system



(b) Signal at the 8th receiver of cabled seismic system

Fig. 8. Comparison of signals between cable-free and cabled seismic system at the same distance 2080 m from the first station. The first arrival time is (a) 88.3 ms for 53rd cable-free receiver and (b) 87.9 ms for 8th cabled receiver when a source is 210 m of depth at Hole 2.



(a)

Fig. 9. Test shots for acquisition parameters. (a) Left is a shot gather with 1 kg charge when the shot hole depth is 6 m and right is a shot gather with 2 kg charge when the shot hole depth is 6 m. (b) The same parameters for 9 m shot hole depth, and (c) the same parameters for 12 m shot hole depth.

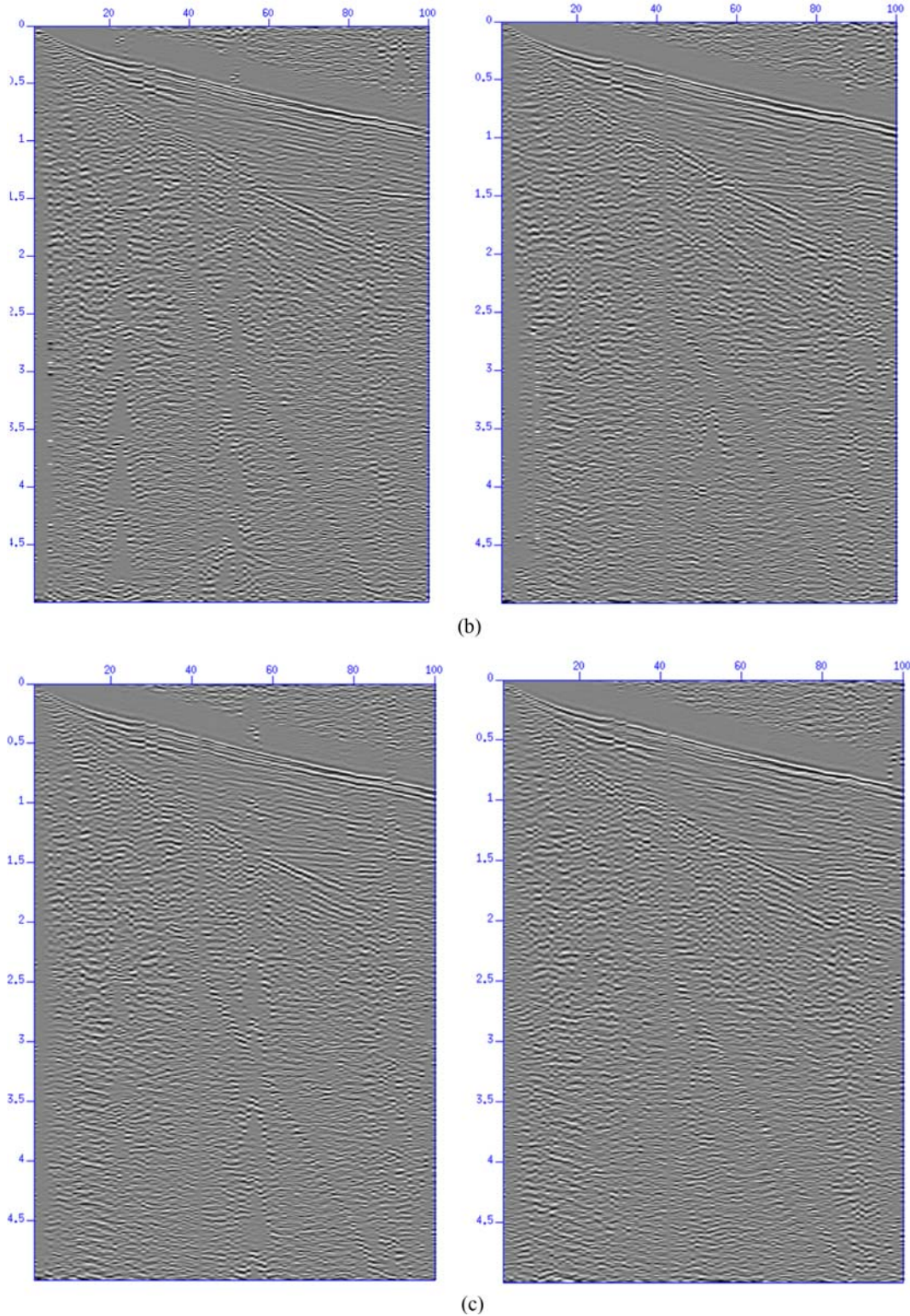


Fig. 9. (continued)

한 것이다. 그림에서 보듯이 발파공 깊이와 화약량에 따라 공기파, 그라운드 롤, 반사파, 직접파, 굴절파 신호음이 조금씩 차이를 보이나 1.2 s에서 보이는 반사파 신호음을 확인할 수

있으며 이를 기준으로 발파공 깊이와 화약량을 결정하였다. 발파시험 결과 발파공 깊이 9 m, 화약량 2 kg을 사용하기로 결정하였다. Fig. 10은 유선 탄성파 탐사에서 구한 음원모음과

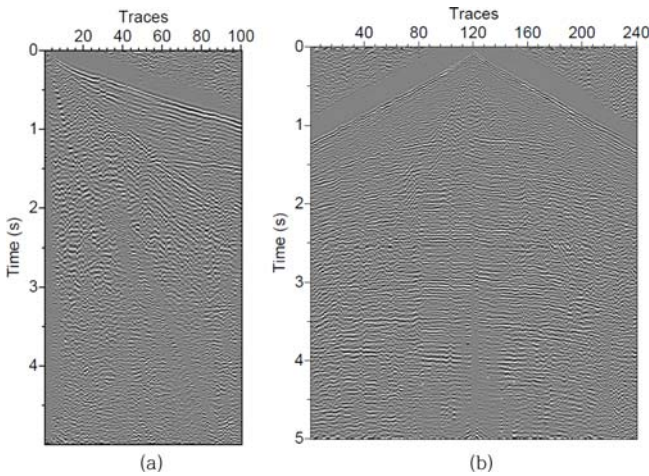


Fig. 10. A comparison of cable-free and cabled seismic explorations. (a) is 96 channel with 9 m shot hole and 2 kg charge of dynamite, and (b) for 240 channels with 18 m shot hole and 9 kg charge of dynamite.

Table 4. Acquisition parameters for cable-free and cabled systems.

Hole	No. of receivers	Receiver interval (m)	Sampling rate (ms)	Record length (s)	Source depth & charge
Cable-free system	100	20	2	5	9 m 2 kg
Cable system	240	25	2	5	18 m 9 kg

비교한 결과이다. 유선 탄성과 음원모음은 같은 지역이지만 동일한 위치에서 구한 것은 아니고 가장 인접한 지점에서 음원 모음을 취하여 비교하였다. 이때 자료 취득변수는 Table 4에 있다. 그림에서 보듯이 (a)는 무선 수신기를 활용하여 발파공 깊이 9 m, 화약량이 2 kg일 때 음원모임이고, (b)는 유선 수신기를 활용한 유선 탄성과 탐사 결과로 발파공 깊이는 18 m, 화약량은 9 kg을 사용한 음원모음이다. 두 음원모음 모두 1.2 s 부근에 반사파를 보이고 있으나 무선 탄성과 결과에서 공기파가 더 강하게 기록되었음을 알 수 있다. 이는 음원의 깊이에 따른 영향으로 무선 탄성과 탐사의 경우 음원의 깊이는 9 m, 유선 탄성과 탐사의 경우 음원의 깊이는 18 m로 유선 탄성과 탐사보다 얇은 곳에서 송신이 이루어진 무선 탄성과 탐사의 경우가 더 많은 공기파를 발생하는 것으로 짐작할 수 있다.

결론

최근 탄성과탐사는 다중방위, 다성분, 3차원 탐사, 탄성과 모니터링 기술 등 다양한 자료취득 기술이 필요할 뿐만 아니라 고도차가 심한 산악지형, 삼각주 지역, 육상-해상을 포함하는 천이지역 등 다양한 탐사환경에서도 탄성과 자료취득을 요구하고 있다. 무선 탄성과 기술은 지형조건에 영향을 적게 받으면서 다양한 자료취득 기술을 적용하기가 적합하다 할 수

있다. 본 연구에서는 무선 탄성과 탐사 시스템과 운영을 살펴 보고 실제 현장실험에 적용하였다. 탄성과 토모그래피 현장실험에서는 2개의 도로를 통과하는 측선에서 자료취득 연속성을 유지하면서 자료를 취득할 수 있었으며 유선 수신기와 무선 수신기에 기록된 탄성과 신호음 분석을 통해 그 차이가 크지 않음을 알 수 있었다. 또한 석유탐사 현장적용 실험에서 무선 탄성과 시스템을 활용하여 취득한 탄성과 음원 모음은 유선 탄성과 기술로 취득한 것과 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 무선 탄성과 시스템 현장적용 실험을 통해 무선 탄성과 탐사 기술을 확립할 수 있었으며 유선 탄성과 탐사 결과와 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 무선 탄성과 탐사는 자료품질을 탐사현장에서 확인할 수 없는 단점이 있어 이를 보완하기 위해 12채널 또는 24채널의 소규모 탄성과 장비를 보조적으로 활용할 경우 현장에서 자료품질 상태를 확인하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20142510101810).

References

Crice, D., 2014, A cable-free land seismic system that acquires data in real time, *First break*, **32**, 97-100.

FairFieldNodal, 2014, ZSystems ZLand 1C and 3C Node User Manual, 235.6049.0005.

Freed, D., 2008, Cable-free nodes: The next generation land seismic system, *The Leading Edge*, **27**, 878-881.

Gharibi, M., Killin, K., McGill, D., Henderson, W. B., and Retallick, T., 2012, Full 3D acquisition and modelling with the quantec 3d system-the hidden hill deposit case study, *ASEG Extended Abstracts 2012: 22nd Geophysical Conference*: 1-6.

Grechka, V., Pech, A., and Tsvankin, I., 2005, Parameter estimation in orthorhombic media using multicomponent wide-azimuth reflection data, *Geophysics*, **70**, D1-D8.

Jeong, C., and Suh, J., 2006, Seismic first arrival time computation 3D inhomogeneous tilted transversely isotropic media, *Jigu-Mulli-wa-Mulli-Tamsa*, **9**, 241-249.

Heath, R. G., 2008, Trends in land seismic instrumentation, *The Leading Edge*, **27**, 872-877.

Kim, J., Matsuoka, T., and Xue, Z., 2011, Monitoring and detecting CO₂ injected into water-saturated sandstone with joint seismic and resistivity measurements, *Jigu-Mulli-wa-Mulli-Tamsa*, **14**, 58-68.

Lansley, M., 2013, Shifting paradigms in land data acquisition, *First break*, **31**, 73-77.

Mahmoudian, F., Margrave, G. F., Wong, J., and Henley, D. C., 2015, Azimuthal amplitude variation with offset analysis of

- physical modeling data acquired over an azimuthally anisotropic medium, *Geophysics*, **80**, C21-C35.
- Moon, Y. S., Ha, H. S., Lim, H., and Ko, G. B., 2006, Field application of 3D seismic travel-time tomography, *KSEG Joint Symposium*, 233-237.
- Naghizadeh, M., 2015, Double-weave 3D seismic acquisition – Part 2: Seismic modeling and subsurface fold analyses, *Geophysics*, **80**, WD163-WD173
- Ritchie, N., Southeast Asian Exploration (SAE): a cable-less seismic first, <http://energystream.co.nz/community/meet-the-people-in-the-industry/southeast-asian-exploration-sae>.
- Sanchis, C., and Elboth, T., 2014, Multicomponent streamer noise characteristics and denoising, *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 4183-4187.
- Savazzi, S., and Spagnolini, U., 2008, Wireless geophone networks for high-density land acquisition: Technologies and future potential, *The Leading Edge*, **27**, 882-886.
- SEG technical standards committee, 1995, Shell processing support format for land 3D surveys, *Geophysics*, **60**, 596-603.
- Stammeijer, J. G. F., and Hatchell, P. J., 2014, Standards in 4D feasibility and interpretation, *The Leading Edge*, **33**, 34-140.
- Swanston, A., M., Mathias, M. D., and Barker, C., 2011, Wide-azimuth TTI imaging at Tahiti: Reducing structural uncertainty of a major deepwater subsalt field, *Geophysics*, **76**, WB67-WB78.
- Yates, M., and Adiletta, S., 2013, Going nodal-Regional 3D seismic acquisition in Cook Inlet, Alaska, *The Leading Edge*, **32**, 538-544.
- Yin, Z., Ayzenberg, M., MacBeth, C., Feng, T., and Chassagne, R., 2015, Enhancement of dynamic reservoir interpretation by correlating multiple 4D seismic monitors to well behavior, *Interpretation*, **3**, SP35-SP52.