

천해역 탄성파 굴절법 탐사를 위한 해수면 기록장비 제작

주형태¹ · 김한준^{1*} · 박건태¹ · 이광훈² · 장남도¹ · 정백훈¹

¹경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호 한국해양연구원

²부산시 대연동 부경대학교 에너지자원공학과

Manufacture of a Sea Surface Recording Device for the Shallow Seismic Refraction Survey

Hyeong-Tae Jou¹, Han-Joon Kim^{1*}, Gun-Tae Park¹, Gwang Hoon Lee², Nam-Do Jang¹, and Baek-Hoon Jung¹

¹Korea Ocean Res. & Dev. Inst., Ansan P.O. Box 29

²Dept. of Energy Res. Eng., Pukyong National Univ., Busan 608-737

서 론

우리나라의 연안에서는 항만과 교량의 건설이 활발히 진행되고 있다. 이러한 건설을 위해서는 지구물리학적 방법을 이용하여 해저면 아래의 지질구조를 구명하는 것이 필수적이다. 특히 해저면 아래의 퇴적물뿐만 아니라 기반구조의 깊이와 기하학적 모양을 자세히 구명하여야 한다. 일반적으로 연안에서 퇴적구조를 파악하기 위해서는 탄성파 반사법 탐사와 굴절법 탐사가 사용된다. 반사법 탐사로서는 단채널 고휘상 음향탐사(acoustic profiling)나 소규모의 다중채널 탄성파 탐사를 수행한다. 반사법 탐사에서는 지층경계면에서 반사되어 돌아오는 파를 이용하므로 지하의 지질구조를 단면형태로서 정밀하게 얻을 수 있는 장점이 있다(신성렬외, 2008). 이에 비해 탄성파 굴절법 탐사는 반사법 탐사처럼 지하의 구조를 단면형태로 직접 보여주지는 못한다. 하지만 탄성파가 지하에서 굴절되어 가장 빨리 돌아오는 신호의 시간을 이용하여 토모그래피 방법을 통해 지하의 물리적 특성인 속도를 파악한다. 이 방법을 통해 지질단면을 속도값에 따라 영상화하여 풍화대의 깊이, 연암 또는 기반암의 심도, 단층파쇄대의 위치와 규모 등을 파악한다(고광범외, 2002; 조창수외, 2002). 해양 탄성파 굴절법 탐사를 위해 수신기로 오래 전부터 OBS (ocean bottom seismometer)와 소노부이(sonobuoy)가 사용되어 왔다. 최근에는 OBC (ocean bottom cable)를 이용한 탐사가 수행되고 있으며 우리나라에서도 적용된 바 있다(신성렬 등, 2008). 우리나라에서 수행된 OBS 탐사의 경우 외국에서 제작된 고가의 장비를 이용하였으며 탐사대상이 해저면 아래 맨틀 상부까지로서 매우

깊은 구조를 파악하는 것이 주목적이었다(Kim et al., 2003). OBC를 이용하는 탐사의 경우 해저면에서 자료를 수신하므로 굴절파를 매우 양호하게 얻을 수 있지만 이것을 해저면까지 내려서 위치시키는 과정이 어려우며 일반적인 탄성파 탐사에서 한 척의 조사선이 음원과 수신기를 동시에 견인하는 것과 달리 음원을 견인하는 조사선과 수신기를 견인하는 조사선이 별도로 필요하다.

우리나라의 연안에는 지난 빙하기 후 홀로세에 형성된 니질 퇴적체가 연안을 따라 띠모양으로 분포하고 있다. 이 니질 퇴적체에는 생물기원의 가스가 다량 분포하여(Lee et al., 2005) 음파를 상당히 감소시키므로 통상적으로 연안의 지질구조를 구명하기 위해 단채널 고휘상 음향탐사를 수행해도 퇴적층과 퇴적기반의 구조를 파악하기가 곤란할 수 있다. 또한 수심이 얇은 연안에서 탄성파 반사법을 적용할 경우 수층내 다중반사가 반사 프로파일에서 매우 우세하게 나타나므로 탄성파 반사법탐사가 여러 가지 제약을 갖는다. 이에 반해 송수신 거리가 큰 탄성파 탐사의 경우 수심이 얇은 해역에서도 수층 다중반사가 영향을 미치지 않으며 반사파뿐만 아니라 퇴적기반으로부터의 굴절파를 얻을 수 있으므로 연안역에서 퇴적층과 퇴적기반의 구조를 알기 위한 탐사방법으로서 그 효용성이 매우 높다고 할 수 있다(Fig. 1).

최근에 한국해양연구원에서는 수심이 얇은 연안에서 해수면에 위치시켜 탄성파 굴절법 자료를 쉽게 획득할 수 있는 기록장비를 제작하였다. 이 연구에서는 한국해양연구원에서 제작한 장비의 특성을 기술하였으며 이의 성능을 검증하기 위해 남해의 천해역에서 획득한 탄성파 자료를 예시하였다.

장비 설명

장비설계

장비 시스템은 탄성파 신호를 감지하여 기록하는 수신부와

2009년 10월 3일 접수; 2009년 11월 3일 채택

*Corresponding author

E-mail: hanjkim@kordi.re.kr

Address: Marine Satellite and Observation Technology,
Korea Ocean R & D Inst. Ansan P.O. Box 29,
425-600, Korea

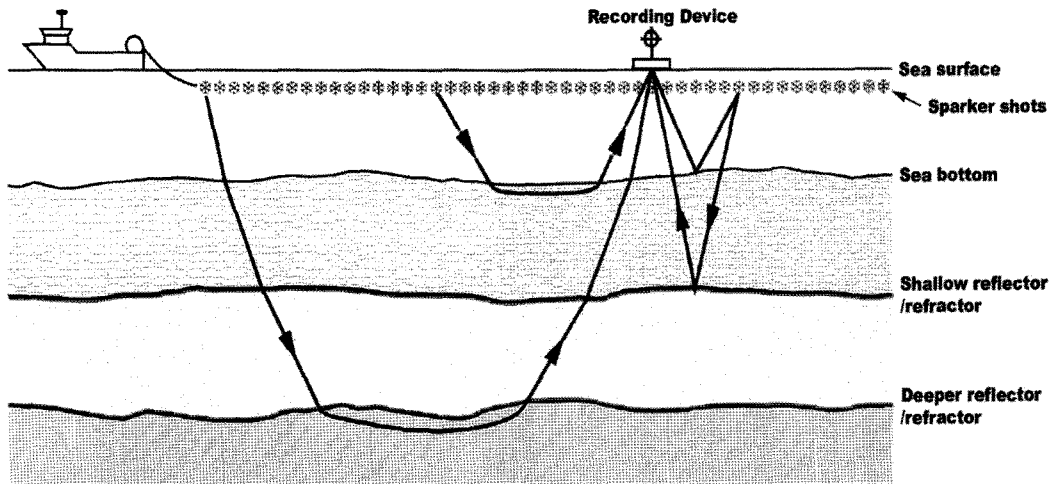


Fig. 1. The schematic diagram of a wide angle seismic survey.

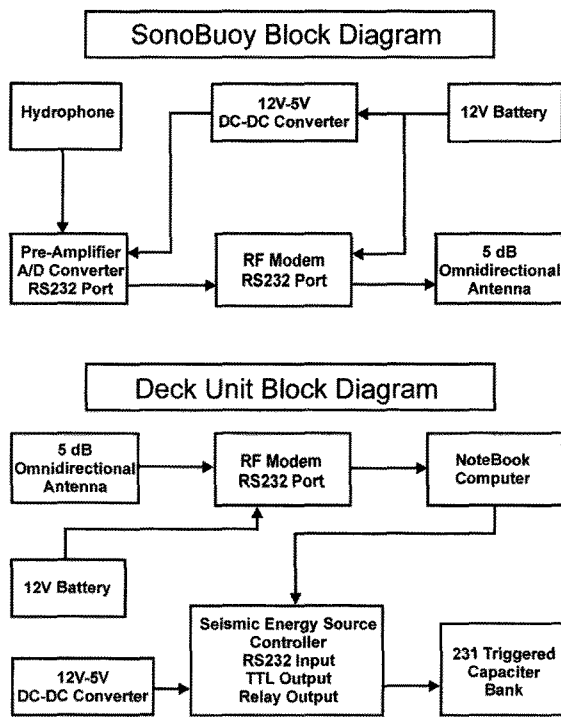


Fig. 2. Block diagrams of the recording system.

조사선에서 기록을 제어하는 선상제어장치(deck unit)로 구성된다. Fig. 2는 기록장비의 설계를 위한 블록다이어그램이다. 하이드로폰으로 수신된 신호는 증폭기를 거쳐 자료획득모듈(data acquisition module)에서 14 bit로 A/D변환을 하여 PDA(personal digital assistant: 개인휴대용 정보단말기)에 저장된다(Table 1). 장비의 전자 시스템은 Intel Xscale 400 MHz 마이크로 프로세서로써 제어한다. 기록장비는 지름이 70 cm인 부이와 연결되어 있어서 해수면에 떠 있도록 설계하였다(Fig. 3). 또한 기록된 자료를 실시간으로 전송할 수 있는 소노부이 기능을 가질 수 있도록 기록장비에 전방향(omni-directional) 안테나를 설치할 수 있도록 하였다. 기록기가 해수면에 위치하면

Table 1. Characteristics of the KORDI sea surface seismic recording device for a wide angle seismic survey.

Hydrophone	
Acoustic Sensitivity:	-201 dB re 1V/ μ Pa \pm 1.5 dB
Frequency Response \pm 1.5 dB:	1 Hz - 10 kHz
Directivity \pm 1 dB on axis:	10 kHz
Sensitivity vs. Depth loss @ 1,732 meters:	0.5 dB
Capacity - pfd \pm 25%:	14,500
A/D Part	
ADC Resolution:	14 bits
Sampling Frequency:	5 KHz
Input Range:	\pm 5 V
System Control Module	
Processor Intel XScale	400 MHz
RAM (RandomAccess Memory)	128 MB SDRAM
ROM (Read Only Memory)	48 MB ROM
SDIO slot SD memory and SDIO card support	
Display Transflective color TFT,	240 \times 320 pixels, 64 K-color support
Buoy	
Diameter:	700 mm
Height:	650 mm

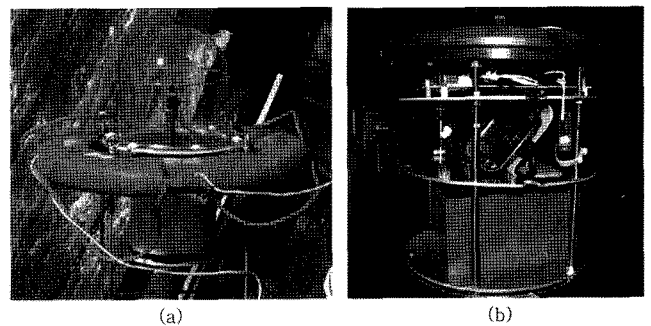


Fig. 3. Photos showing the recording device. (a) The outer part jointed to a buoy and (b) the inner assembled unit.

수중으로 수신기가 내려가게 된다. 수신기로는 수중에서 신호를 감지하기 위해 수중에서 음파의 압력을 감지할 수 있는 하이드로폰을 사용하였다. 장비를 구성하는 각 부분의 특성은 Table 1에 기재되어 있다.

자료 포맷

14 bit로 A/D 변환된 자료 샘플은 16 bit로 확장하여 PDA에 저장된다. 이 연구의 현장자료 획득시 사용한 파원은 일반적인 에어 건보다 훨씬 높은 1 KHz 이하의 음파를 수중에서 발사하는 스파커(sparker)였으므로 자료의 샘플률을 5 KHz로 하여 A/D변환하였다.

현장 자료 획득

탄성과 탐사 방법은 각각의 탐사의 목적에 따라 달라진다. 이 연구의 목적은 수심이 얇은 천해역에서 해저면 아래의 천부 퇴적층과 기반 구조를 영상화하기 위한 탄성과 굴절자료를 획득하는 장비를 개발하는 것이다. 굴절법 탐사를 통해 천부 지질을 자세히 영상화하기 위해서는 에어 건을 파원으로 이용하는 다중채널 탄성과 탐사에 비해 상대적으로 짧은 축선을 따라 짧은 발파간격으로 되도록 많은 수의 발파를 하여야 한다. 따라서 에어건과 달리 쉽게 사용할 수 있고 짧은 간격으로 발파가 가능한 스파커를 음원으로 사용하였다. 장비의 시험을 위해 사용한 스파커는 EG&G사 제품으로서 4500 joule의 에너지로 음파를 발생하였다.

바다에서 수행하는 천부 굴절법 탐사에서는 수신장비를 해수면의 어느 위치에 고정시키고 조사선이 축선을 따라 이동할 때 조사선에 연결된 음원을 연속적으로 발파한다. 음원은 조사선에 연결되어 있지만 수신기는 조사선에 붙어 있지 않으므로 송수신 간격은 영에서 신호가 도달할 수 있는 한도까지 매우 크다. 이렇게 큰 송수신간격은 수직에 가까운 반사뿐만 아니라 광각(wide-angle)반사 그리고 굴절까지 감지할 수 있다. 장비의 성능을 시험하기 위해 거제도 연안에서 기록장비를 해수면에 놓아 두고 이것을 중심으로 약 300 m 길이의 축선을 설정하여 축선을 따라 조사선을 약 2 knot의 속도로 운행하면서 스파커를 발파하였다. 스파커는 2초마다 발파하였는데 이 발파간격은 조사선의 속도를 고려하면 약 2 m에 해당한다.

Fig. 4는 이렇게 얻은 기록을 0.245 ms까지 그린 것이다. 스파커가 기록장비에 가장 가깝게 접근했을 때에 해당하는 지점이 트레이스 번호 1700번 부근이며 이를 중심으로 좌우로 나타나는 신호들은 스파커에서 바닷물을 통해 기록장비까지 전파한 직접파, 해저면과 그 아래의 경계면에서 되돌아 온 반사파, 그리고 굴절파들로 이루어져 있다. 시험조사에서 얻고자 했던 굴절파는 기록단면의 왼쪽부터 트레이스 번호 1200까지 그리고 트레이스 번호 1200부터 오른쪽으로 기록되어 있음을 볼 수 있다. 굴절파의 기물기로부터 구한 속도는 약 2.5 km/s인데 이것은 미고결 퇴적물의 아래에 있는 기반면의 탄성과 전파속도로 해석된다.

결 론

고해상 광각 탄성과 반사 및 굴절자료는 천해역에서 해저하

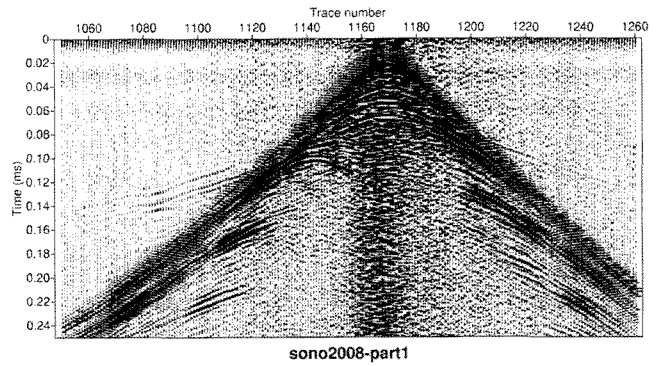


Fig. 4. A sample record section from the nearshore of Koje Island, South Sea. Note that refraction occurs on both sides of the sonobuoy location.

부의 구조를 탐사하는 데에 매우 유용하다. 이 연구에서는 송수신 거리가 큰 해양탄성과 탐사를 위해 고해상 탄성과 신호를 기록하는 데에 적합한 기록장비를 설계하고 제작하였다. 기록장비내에서 탄성과 신호는 하이드로폰으로 감지되어 증폭된다. 이 후에 신호는 14 비트의 A/D 변환기를 이용하여 최대 5 KHz의 비율로 digitize되어 저장된다. 이 장비에 전방향 안테나를 부착함으로써 소노부이의 기능을 갖추도록 하였다. 거제도 인근의 천해역에서 파원으로 스파커를 사용하여 수행한 시험에서 이 장비는 미고결 퇴적층과 퇴적기반으로부터 반사 및 굴절된 신호를 기록하는 것을 확인하였다.

사 사

이 연구는 기상지진기술개발사업단의 지원(CATER 2008-5403)으로 수행되었다.

참고문헌

고광범, 이두성, 2002, 탄성과 굴절법 파선 토모그래피에 의한 지반침하 해석, 한국자원공학회지, **39**, 283-288.
 신성렬, 김찬수, 조철현, 2008, 탄성과 반사법 및 굴절법을 이용한 천해저 지반조사에 대한 연구, 물리탐사, **11**, 109-115.
 조창수, 이희일, 서정희, 2002, 탄성과 굴절법 토모그래피를 이용한 지반의 속도분포 해석, 물리탐사, **5**, 6-17.
 Lee, G. H., Kim, D. C., Kim, H. J., Jou, H. T., and Lee, Y. J., 2005, Shallow gas in the central part of the Korea Strait shelf mud off the southeastern coast of Korea, *Continental Shelf Research*, **25**, 2036-2052.
 Kim, H. J., Jou, H. T., Cho, H. M., Bijwaard, H., Sato, T., Hong, J. K., Yoo, H. S., and Baag, C. E., 2003, Crustal structure of the continental margin of Korea in the East Sea (Japan Sea) from deep seismic sounding data: evidence for rifting affected by the hotter than normal mantle, *Tectonophysics*, **364**, 25-42.