

工學碩士 學位論文

천해저용 음원 및 고분해능 다중채널 탄성파탐사

시스템 개발과 현장적용

Development of High Resolution Multichannel Seismic Data Acquisition
System with Shallow Marine Source and its Field Application

指導教授 辛 誠 烈

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海洋開發工學科

金 永 峻

본 論文을 金永峻의 工學碩士
學位論文으로 認准함

委員長 張 元 一 (인)

委 員 辛 誠 烈 (인)

委 員 林 鍾 世 (인)

2004年 12月

韓國海洋大學校 大學院

海洋開發工學科 金 永 峻

초 록

천해저 탄성과 반사법 탐사는 해저 파이프라인 및 케이블 매설, 해양 골재 자원 조사, 해양 건설공사 시 기반암 조사 등 엔지니어링 목적으로 널리 사용되고 있다. 천부 해저 탄성과 반사법 탐사자료의 해상도를 높이고 품질을 향상시키기 위해 디지털화 연구가 수행되었고 천해저 고분해능 다중채널 탐사 기술과 천해저 3차원 고분해능 탐사도 시도 되어지고 있다.

본 연구에서는 고전압을 이용한 압전 트랜스듀서(transducer)를 이용하여 탐사 장소, 수심 및 목적에 따라 사용할 수 있고 운용 및 이동이 편리한 천해저용 탄성과 음원을 제작하였다. 이 시스템에는 분해능을 향상하기 위하여 24bits A/D 변환기를 사용하였고, 채널이 총 8개인 다중채널 기록장치를 제작하여 자료취득 과정에 있어서 효율성을 높이면서 자료의 품질을 향상시켰다.

개발된 시스템의 현장 적용성을 검증하기 위하여 자료취득변수 중 음원-수신 장치간의 위치와 거리에 따라 탐사를 수행하였고, 또한 실제 현장여건과 탐사 목적에 적합성 검토를 위해 수심별로 트랜스듀서의 개수를 달리하여 수행하였다. 자료취득변수를 변화하여 취득한 탄성과 자료를 비교 분석하여 본 시스템을 통한 자료 취득 과정에서의 최적화된 자료취득변수를 제시하였다. 마지막으로 천해저 탄성과 탐사 자료에 필요한 전산 처리 과정인 디콘볼루션, 너울 필터 및 대역 필터링을 적용하여 자료의 해상도 및 품질을 향상시켰다.

주요어 : 천해저 탄성과 반사법 탐사, 고분해능 다중채널, 탄성과 음원, 현장 적용성

ABSTRACT

Shallow marine seismic reflection survey is very useful to be for engineering applications such as pipeline or cable installation, investigation of geologic structure, and exploration of marine resources. The digital and three-dimensional high resolution multichannel seismic data acquisition technique has been applied to improve the resolution and quality of shallow marine seismic data.

In this study, we have developed the high resolution multichannel seismic data acquisition system and shallow marine seismic source. It is easy to operate and handle our source system which utilizes piezoelectric transducer of high electrical power. According to water depth, survey condition and purpose, transducer number of source system can be easily changed in order to maximize field applicability. In the recording part, we used 24 bits and 8 channel high speed A/D board. Therefore, we could achieve the improvement of data quality and the efficiency of data acquisition.

The developed system was tested and varied with the data acquisition parameters such as source-receiver offset, and transducer number versus water depth. The optimum data acquisition parameter was presented from the comparison with the obtained seismic data. For the purpose of enhancing and improving the data quality and image resolution, seismic data processing technique was applied to the obtained seismic data such as

deconvolution, swell filtering, and band-pass filtering.

Key words : shallow marine seismic reflection survey, high resolution multichannel, seismic source, field applicability

목 차

초 록	i
Abstract	ii
1. 서 론	1
2. 천해저 고해상 탄성파탐사 자료 취득 개요	4
3. 자료 취득 시스템	8
3.1 음원 장치	9
3.1.1 부머	9
3.1.2 제작된 음원	11
3.2 수신 장치	13
3.3 기록 장치	13
3.3.1 신호증폭장치	14
3.3.2 기존의 상용화 기록 장치	14
3.3.3 제작된 기록 장치	15
3.3.4 A/D 변환기	16
3.3.5 운용 소프트웨어	17

4. 현장 자료 취득	19
4.1 연구 지역	19
4.2 자료취득변수	19
4.3 음원-수신 장치의 위치와 거리에 따른 탄성과 단면도 비교	22
4.4 A/D 변환기에 따른 분해능 비교	27
4.5 수심에 따른 트랜스듀스의 조합	29
5. 자료 처리	37
5.1 너울 필터링	38
5.2 디지털 필터링	40
5.3 디콘볼루션	43
6. 결 론	46
참 고 문 헌	48
APPENDIX	50

표 목 차

Table 1 Outline of the developed data acquisition system	7
Table 2 Data acquisition system	8
Table 3 Data acquisition parameter for field test	21
Table 4 Frequency characteristic with respect to the number of transducer	31

그 립 목 차

Fig. 1 Representation of high-resolution seismic survey	6
Fig. 2 Schematic diagram of data acquisition system	9
Fig. 3 A drawing of shallow marine seismic source(top : section, bottom : a support transducer)	12
Fig. 4 Shallow marine seismic source	13
Fig. 5 The developed recoding instrument	16
Fig. 6 Screen capture of seismic data acquisition software	18
Fig. 7 Survey area and survey line for field application	20
Fig. 8 Water bottom seismic refraction survey(left : survey area, right : 3-dimensional iso-surface volume of bed rock)	20
Fig. 9 Source-Receiver configuration (left : straight, right : diagonal)	23
Fig. 10 Track chart of Line A for variation with source-receiver offset ...	23
Fig. 11 Seismic sections of Line A along source-receiver offset in (a) 5m straight, (b) 5m diagonally	24
(c) 10m straight, (d) 10m diagonally	25
(e) 15m straight, and (f) 15m diagonally, respectively	26

Fig. 12 Seismic sections of Line A using	
(a) 16 bits A/D converter and (b) 24bits A/D converter	28
Fig. 13 Raw data and frequency spectrum	
(a) uni-boomer data, (b) frequency spectrum of (a),	
(c) dual-boomer data, (d) frequency spectrum of (c),	30
(e) tri-boomer data, and (f) frequency spectrum of (e)	31
Fig. 14 Track chart of Line A for demonstrating the effect of the number	
of transducer in shallow water depth	32
Fig. 15 Seismic sections of Line A	
(a) uni-boomer(transducer 1), (b) dual-boomer(transducer 2), and	
(c) tri-boomer(transducer 3).....	33
Fig. 16 Track chart of Line D for the effect of the number of transducer	
in relatively deep water depth	35
Fig. 17 Seismic sections of Line D	
(a) uni-boomer(transducer 1) and (b) dual-boomer(transducer 2) .	36
Fig. 18 Flow chart of data processing	37
Fig. 19 Swell filter effect of uni-boomer data	
(a) before swell filter and (b) after swell filter	39
Fig. 20 Frequency spectrum of band-pass filter effect of dual-boomer data	
(a) before band-pass filter, (b) band-pass filter(200Hz to 1500Hz),	
and (c) after band-pass filter	41
Fig. 21 Band-pass filter effect of dual-boomer data	
(a) before band-pass filter, (b) after band-pass filter	42
Fig. 22 Deconvolution effect of dual-boomer data	
(a) before deconvolution and (b) after deconvolution	44
Fig. 23 Final seismic section(after data processing of Fig. 21)	
(a) uni-boomer data and (b) dual-boomer data	45

1. 서 론

해양탄성파탐사는 육상과 마찬가지로 반사법탐사와 굴절법탐사로 구분될 수 있다. 굴절법탐사는 속도에 의한 지하영상화가 가능하지만 반사법 탐사보다는 지층경계에 대한 분해능이 떨어진다. 해양탄성파 반사법탐사는 지난 수십 년간 모래, 자갈 등 골재와 석유, 천연가스, 가스하이드레이트 등 해저에 부존하는 자원탐사에 사용되었으며, 해저 파이프라인 및 케이블 매설, 해저터널, 해저 저장시설, 원자력발전소, 교량 등과 같은 해양 건설공사 시 기반암 조사 등 엔지니어링 탐사와 지질환경변화, 단층, 제4기 퇴적환경 등 해저지질 조사에 폭넓게 이용되어 왔다(이호영 외, 2002; 이호영, 2004).

엔지니어링 탐사를 목적으로 하는 해양탄성파 반사법탐사는 규모와 대상면에서 석유탐사를 목적으로 하는 해양탄성파 반사법탐사와 구별된다. 석유탐사를 목적으로 하는 해양탄성파 반사법탐사는 규모가 크고 대용량의 에어건과 수 km의 긴 스트리머를 사용하여 수 km 깊이의 지질구조 파악을 목적으로 하나, 엔지니어링 탐사를 목적으로 하는 해양탄성파 반사법탐사는 소형 에어건(Air-Gun), 스파커(Sparker), 부머(Boomer) 등의 음원과 단일채널 또는 소규모의 다중채널 고분해능 스트리머를 사용하여 수십 m이내의 천부 지질구조 파악을 목적으로 한다. 심부 탐사에 비해 천부 탐사는 고주파 성분의 음원을 사용하므로 해상도가 상대적으로 높아 고해상 탐사라고도 한다(이호영 외, 2002).

엔지니어링 탐사를 목적으로 하는 해양탄성파 반사법탐사는 탐사지역의 수심이 얕아 대형 탐사선으로 탐사하기 어려우므로 소형선박으로 수행하여야 하며 예산 규모에 따라 경제적으로 수행하여야 하는 경우가 많다. 최근에는 PC와 주변기기의 발전으로 디지털 자료기록 및 처리 비용이 감소함에 따라 천부

해저 탄성과 반사법탐사자료의 해상도를 높이고 품질을 향상시키기 위한 디지털화 연구가 수행되어 왔다. 이는 자료가 디지털로 취득되면 석유탐사에서 사용되는 다중채널 탐사기술을 적용하여 품질을 향상시킬 수 있기 때문이다. 대규모의 중요한 천부 고해상 탐사의 경우, 이와 같은 다중채널을 이용한 탐사가 수행되었으며, 3차원 고해상 탐사도 시도 되었다(이호영 외, 2003; Lee et al., 1996).

위에서 살펴본 바와 같이 엔지니어링 탐사를 목적으로 하는 해양탄성과 반사법탐사는 소형선박을 이용하여 고주파 성분의 음원과 단일채널 또는 소규모의 다중채널 스트리머 그리고 디지털 자료기록 시스템 등으로 자료를 취득하고 있으며 이런 자료 취득 시스템의 개발로 취득 과정의 효율을 높일 수 있으며 또한 데이터의 품질을 향상시킬 수 있다(Missiaen et al., 2002; 이호영 외, 2003; 김현도 외, 2004).

따라서 본 연구에서는 천해저 탄성과 탐사 자료 취득의 효율적인 측면과 데이터 품질 향상에 중점을 두었으며 이를 위해 자료취득 시스템을 고안하였다. 시스템의 주요 구성에 있어서 음원은 부머(boomer)의 종류인 쿼드펄서(quad-pulser)의 트랜스듀스(transducer)의 개수를 선택하여 수심 및 탐사 장소, 목적에 따라 사용할 수 있도록 천해저용 음원을 개발하였다. 기록장치에 있어서는 신호증폭장치를 제작하여 신호증폭, TVG, TVG delay를 조절할 수 있도록 하였다. 기록기는 분해능이 24bits A/D 변환기를 사용함으로써 분해능이 향상되도록 하였으며 총 8개의 채널을 사용할 수 있도록 제작하여 향후 천해저 고분해능 다중채널 탐사 및 3차원 탐사도 가능하도록 하였다.

이와 같이 개발된 천해저 고해상 탄성과 자료 취득 시스템의 성능 시험을 위해 기존의 상용화 자료 취득 시스템으로 현장탐사를 동시에 수행하였으며, 개발된 자료 취득 시스템으로 취득한 탄성과 단면의 해상도를 검토하기 위하여 기존의 자료 취득 시스템의 탄성과 단면도와 비교하였다. 또한, 천해저라는

현장여건을 고려하였을 때 필요한 기본적인 자료 처리 기술 필터링(swell filtering), 디지털 필터링(digital filtering), 디콘볼루션(deconvolution) 등을 통하여 자료의 해상도를 향상시켰다.

2. 천해저 고분해능 탄성파탐사 자료취득 개요

탄성파 탐사는 크게 반사법 탐사와 굴절법 탐사로 구별할 수 있다. 반사법 탐사도 탐사 목적과 장소에 따라 여러 가지로 분류될 수 있는데 심도에 따라 천부지층을 목적으로 하는 경우와 심부지층을 목적으로 하는 경우 탐사법이 다르며 마찬가지로 육상에서의 탐사법과 해상에서의 탐사법이 다르다. 본 연구에서는 천부지층의 탐사를 목적으로 하는 해상에서의 천부지층 탐사를 위한 반사법 탄성파 탐사를 다루고자 하는데 이와 같은 탐사를 천해저(shallow marine) 고분해능(high-resolution) 반사법 탄성파 탐사라 한다.

일반적으로 탄성파 탐사에 사용되는 장비는 음원(source), 수신장치(receiver)와 기록장치로 구성된다. 주요 음원으로는 육상에서 다이내마이트, 바이브로사이스(Vibroiseis), 다이노사이스(Dinoseis), 웨이트드롭(weight-drop), 티건(shot gun) 등이 사용되고 해상에서는 에어건(air gun), 워터건(water gun), 스파커 어레이(sparker array), 부머(boomer) 등이 사용된다. 수신장치에는 육상에서는 지오폰(geophone), 해상에서는 하이드로폰(hydrophone)이 사용되고 있다. 기록장치는 PC기반의 디지털 기록 장치가 많이 사용된다.

해상탐사의 경우를 구체적으로 살펴보면 천부탐사와 심부탐사의 경우로 나누어진다. 음원으로는 천부탐사의 경우 1~15.4 kJ의 스파커 어레이, 200 in³ 이하의 에어건 또는 워터건, 300~1500 kHz의 부머 등을 많이 사용하며 석유탐사와 같은 심부탐사의 경우는 1000~4000 in³의 에어건 어레이를 사용하고 있다. 수신장치로는 천부탐사의 경우 단일채널의 스트리머 또는 24 채널 이하의 다중채널 스트리머(streamer)를 사용하나 심부탐사의 경우 약 3 km 이상의 긴 스트리머 케이블(streamer cable)을 사용하고 있다. 기록장

치로는 천부탐사의 경우 그래픽 레코딩(graphic recording) 또는 아날로그 테이프 레코딩 시스템(analogue tape recording system)을 사용하며 심부탐사의 경우 다중채널 디지털 레코딩 시스템(multi channel digital recording system)을 사용한다. 이와 같이 천해저 고해상 탄성파 탐사는 심부탐사에 비해 음원과 수신장치의 규모가 작으며 소형의 탐사선으로 수행되고 있다.

천해저 고분해능 탐사의 전반적인 과정은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 항측(navigation), 음원(source), 수신장치(receiver), 그리고 기록장치로 구분된다. 발파간격(shot interval)에 따라 트리거 펄스(trigger pulse)는 음원 조절장치(source controller)나 기록장치의 소프트웨어(software)로부터 발생된다. 트리거 펄스는 에너지 발생장치에 보내져 에너지의 발파를 유도한다. 음원으로부터 발생된 탄성파는 지층의 경계면에 반사되어 되돌아와 하이드로폰을 통하여 수신된다. 수신된 신호는 전치증폭기(preamplifier)에서 증폭되며 이 신호는 A/D 변환기(analog/digital converter)에 의해 디지털 신호로 기록된다.

이와 같이 천해저 탐사자료 취득은 등시간 간격의 트리거 펄스가 발생됨으로써 시작되며 수신 장치와 신호처리과정을 거친 탄성파 신호가 기록장치로 되돌아오는 과정의 반복으로 이루어진다(이호영, 1991)..

위에서 살펴본 바와 같이 해양 탄성파탐사는 육상 탄성파탐사와 원리는 비슷하지만 육상 탄성파탐사에 비해 연속적인 자료취득이 용이하다. 하지만 해양 탄성파 탐사에서는 자료취득이 이루어지는 동시에 위치측정이 이루어져야 한다. 따라서 해저탐사에는 해상에서의 위치측정을 위하여 일찍이 위성측위장치(GPS : Global Positioning System)를 사용하여 왔으며, 최근에는 1m내외의 정확도를 얻기 위하여 DGPS(differential GPS), RTK(real time kinematic GPS)를 사용하고 있다(이호영 외, 2002).

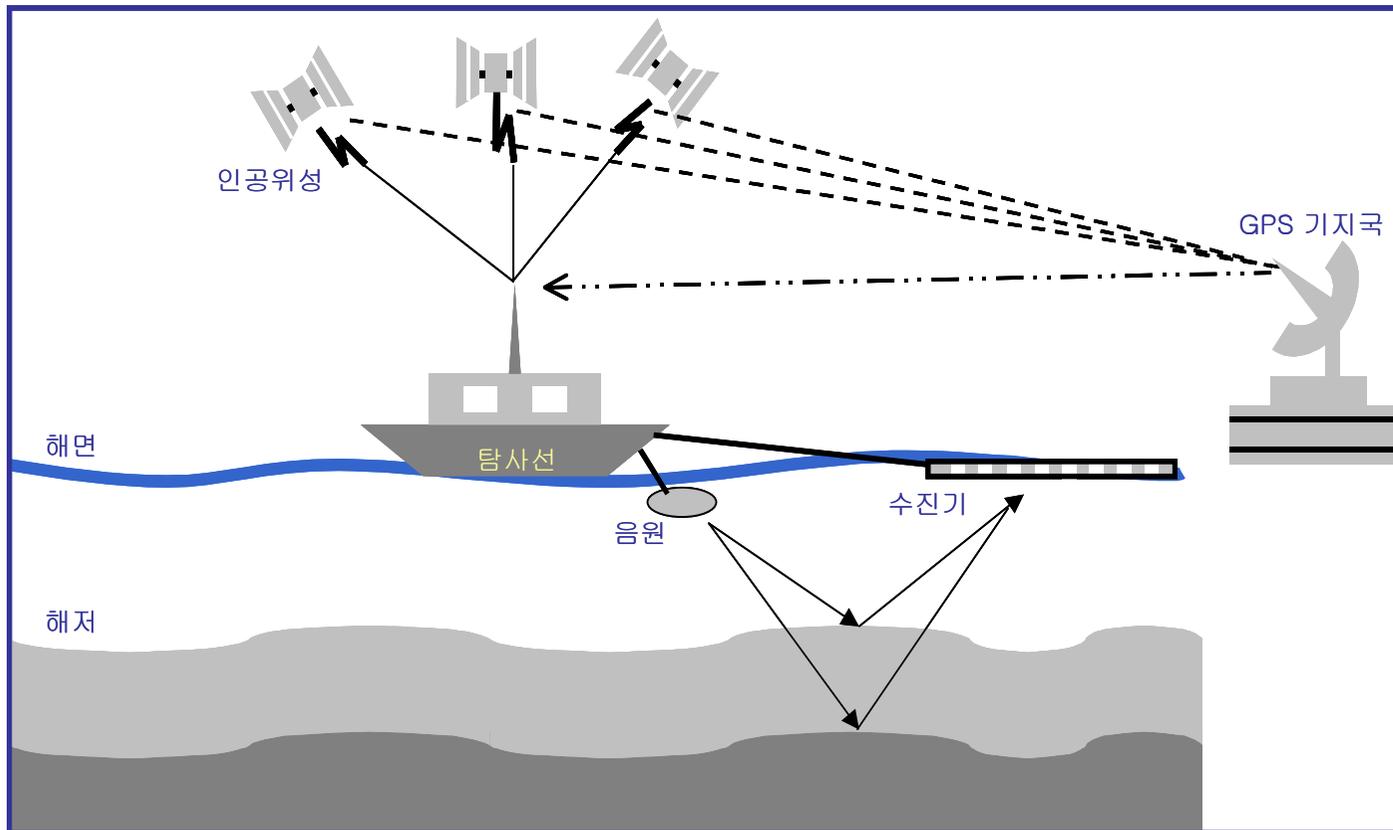


Fig. 1 Representation of high-resolution seismic survey

이상과 같이 천해저 고분해능 탄성과 탐사자료 취득의 전반적인 과정을 살펴보았으며 본 연구에서는 천해저 고분해능 탄성과 탐사에 있어서 자료 취득 과정에 있어 효율성과 데이터 품질 향상에 중점을 두고 자료 취득 시스템을 다음과 같이 제작하였다.

Table 1. Outline of the developed data acquisition system

Source	Uni-Boomer(Transducer 1) Dual-Boomer(Transducer 2) Tri-Boomer(Transducer 3)
Recording instrument	Amplifier
	8 Ch. & 24 bits resolution board

3. 자료 취득 시스템

자료 취득을 위해 구성된 시스템은 Table 2에 나타낸 바와 같이 음원으로는 부머의 트랜스듀스의 개수를 각각 달리 하여 사용하였으며 수신장치는 단일채널 스트리머를 사용하였다. 자료 취득 시스템의 구성은 Fig. 2에 나타내었다. 제작된 기록장치의 성능을 평가하기 위해 기존의 상용화 기록장치와 동시에 자료를 취득하였다.

이상과 같이 자료 취득 시스템의 전반적인 사항을 살펴보았으며 세부적인 사항을 알아보기로 한다.

Table 2. Data acquisition system

Survey vessel	A-Chi
Source	Boomer(Uni-Boomer, Dual-Boomer, Tri-Boomer)
Control system	QPS-544 Quad-Pulser Transceiver
Signal conditioning	Amplifier
Receiver	1 channel streamer
Recording instrument (software, A/D)	Z-tam(Z-Dolphin, A/D 24bits), CAP-6600 chirp II workstation(chirpII, A/D 16bits)
Positioning system	Garmin DGPS

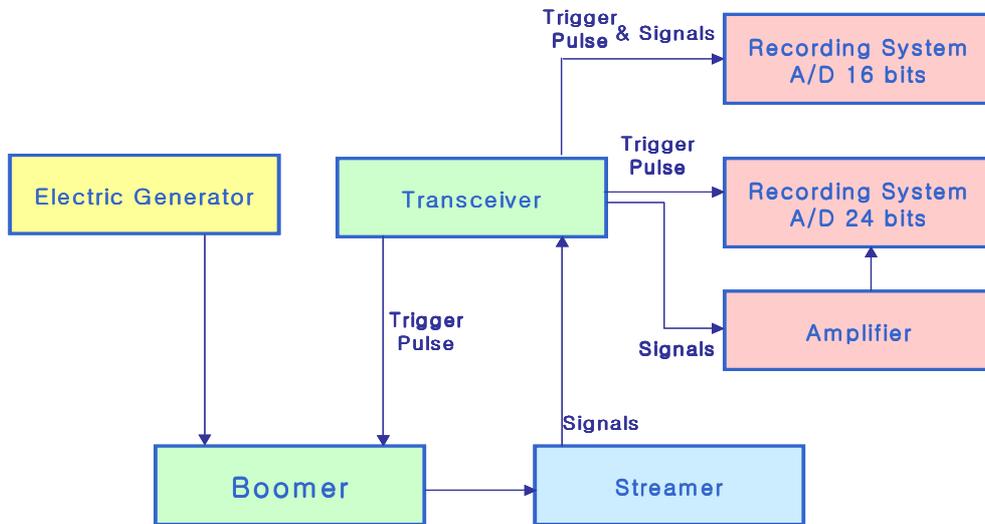


Fig. 2 Schematic diagram of data acquisition system

3.1 음원 장치(Source)

3.1.1 부머(Boomer)

전압을 순간적으로 방전시킴으로써 에너지를 발생하는 해상 탄성과 탐사용 음원이다. 주파수는 300~1500 Hz이며 탄성과 단면에서 뚜렷한 반사면을 나타내는 매우 강하고 저주파수를 띤 반사파를 발생시킨다. 부머(boomer)로부터 만들어지는 음향 펄스(acoustic pulse)는 코일(coil)에 전기에너지(electric energy)를 방출하고, 코일에 대하여 와전류(eddy current)가 플레이트(plate)에서 발생되고, 플레이트의 변형은 결과적으로 음향 펄스를 만들게 된다.

본 시스템의 특징은 휴대용의 저주파 탄성과 profiling system으로 퇴적층을 통과하여 깊은 심부까지 파(wave)가 침투하는 음원을 제공한다. 네 개의

버블 펄서(bubble pulser)는 트랜스듀서(transducer)들로 단일의 견인체에 설치되어 있어 굵은 모래와 자갈을 이루는 심부를 침투할 수 있는 음원을 제공하여 기반암(bedrock)에 도달하고 반사파(reflected wave)를 기록하는 시스템이다.

본 시스템은 트랜스시버(transceiver), 전원 공급 장치(power supplies), 견인체(tow vehicle), 전자식 음향 트랜스듀서(electromagnetic acoustic transducers) 부분들로 구성되어 있다. 트랜스시버는 100-125 VAC, 60 HZ 또는 220-240 VAC, 50 Hz(factory configured)의 전원으로 공급되며, 네 개의 동일한 전원 공급 장치와 수신기가 결합하고 있다. 전원 공급 장치는 트랜스시버에 장착되어 있는 네 개의 전원공급 장치로부터 전원이 트랜스듀서에 공급되며 내부, 외부, 그리고 수동으로 조정가능하다. 수동 조정하면 각각의 전원 공급 장치를 독립적으로 조정할 수 있다. 전원은 고전압 에너지 저장 축전기로부터 에너지가 나와 트랜스듀서로 공급된다. 쿼드 펄서(quad-pulser) 견인체는 트랜스듀서가 두 개씩 한 배열(array)을 이루어 총 2개의 배열로 되어있다. 또한 견인 케이블(tow cable)은 탐사선(survey vessel)이 3노트(knots)이상의 속도로 수행하여도 견딜 수 있는 내구력을 가지고 있으며 총 케이블의 길이는 50 m이다. 이와 같이 본 연구에 사용된 부머의 트랜스듀서는 개수는 총 네 개로 구성되어 있으며 주파수 대역은 밴드(band) 400 Hz이다. 트랜스듀서는 1/4파장 간격으로 배치되어 있고 단일 트랜스듀서에서 얻어지는 것보다 더 강력하고 방향성의 음향 펄스를 발생시킨다.

본 연구에서 사용한 부머와 트랜스시버를 <Appendix 1> Fig. 1에 도시하였으며 보다 자세한 재원은 <Appendix 1> Table 3에 나타내었다.

3.1.2 제작된 음원

본 연구에서 새롭게 구성된 음원 시스템은 기존의 BPV-524 Quad Pulser Tow Vehicle의 전자식 음향 트랜스듀서를 사용하도록 제작하였다.

기존의 BPV-524 Quad Pulser Tow Vehicle은 4개의 트랜스듀서를 사용하기 때문에 얇은 수심에 비해 높은 에너지가 출력되기 때문에 다중 반사파가 강하게 생겨 데이터를 해석하는 것에 있어 많은 애로점이 있으며 중량이 약 400 kg정도가 되어 운용 및 이동에 있어 많은 어려움이 따른다. 따라서 이 단점들을 보완하여 시스템을 다음과 같이 제작하였다.

Fig. 3은 새롭게 제작된 시스템의 설계도이며 Fig. 4에 도식하였다. 서핑보드(surfing board)를 이용하여 버블 펄서(bubble-pulser)와 유사한 모양으로 설계하였다. 트랜스듀서를 장착하는 지지대는 기존의 BPV-524 Quad Pulser Tow Vehicle의 사이즈와 동일하게 하였다. 트랜스듀서 지지대의 재료는 알루미늄($t=10$ mm)을 사용하였으며 트랜스듀서가 1개일 때는 유니 부머(uni-boomer), 2개일 때는 듀얼 부머(dual-boomer), 3개일 때는 트리 부머(tri-boomer)라고 칭하였다. 이것의 장점은 수심 및 탐사 장소, 목적에 따라 트랜스듀서의 개수를 선택할 수 있으며 중량 역시 기존의 BPV-524 Quad Pulser Tow Vehicle의 1/3정도 밖에 되지 않아서 장비의 운용 및 이동이 용이하도록 하였다.

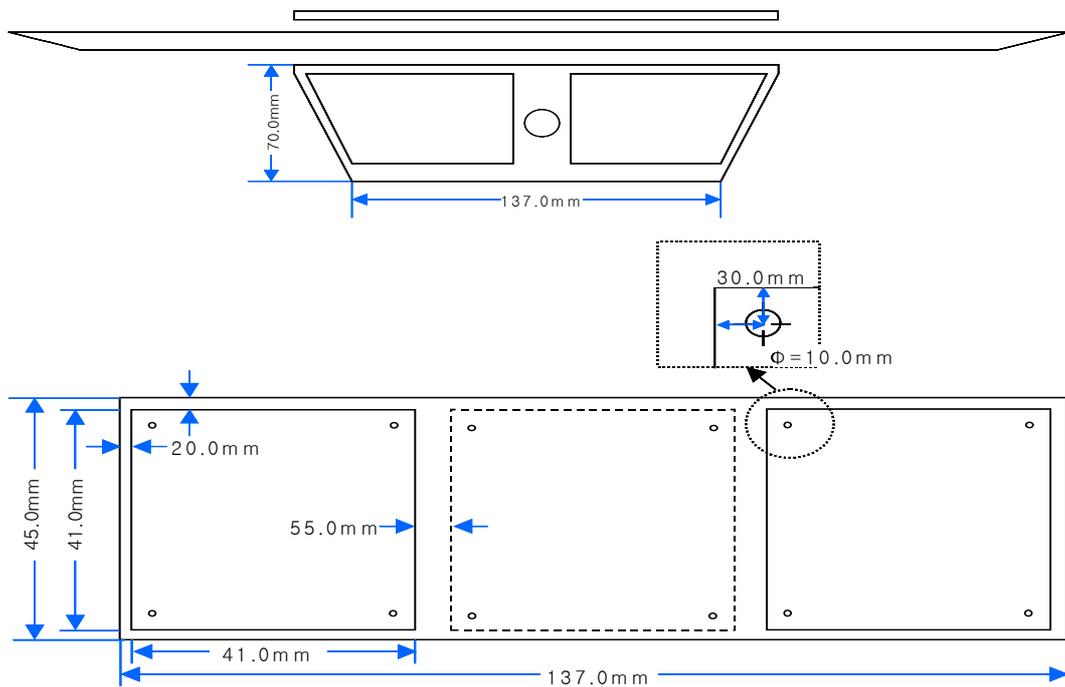


Fig. 4 A drawing of shallow marine seismic source
(top : section, bottom : a support of transducer)



Fig. 5 Shallow marine seismic source

3.2 수신 장치

본 탐사에서 사용한 스트리머(streamer)는 반사된 신호들을 받아 송신하는 기능으로 음원에 의해 만들어진 탄성파의 반사파(reflected wave)를 수신하여 기록시스템으로 송신한다. 스트리머 케이블(streamer cable)은 쿼드 펄서 트랜스시버(quad-pulser transceiver)에 연결되어 있다. 스트리머 케이블은 기름으로 채워진 10m의 튜브(tube)에 총 32개의 하이드로폰 엘레먼트(hydrophone elements)가 1피트(feet) 간격으로 단일채널을 이루고 있다. 스트리머는 50 m의 견인 케이블(leader tow cable)에 연결되어 있으며, 이 케이블은 수신기에 연결되어 있다. 또한 스트리머 자체에 20 dB의 전치증폭기가 장착되어 반사파들을 증폭하여 준다. 본 탐사에서 사용한 스트리머는 <Appendix 1> Fig. 2에 도시하였으며, 재원은 <Appendix 1> Table 2에 나타내었다.

3.3 기록 장치

탄성파 자료 취득 시스템 중 기록 장치의 중요한 두 가지 기능은 아날로그 신호(analog signal)를 디지털 값(digital value)으로 변환시켜 주는 A/D 변환(analog to digital converting)기능과 디지털 신호(digital signal)로 변환된 자료를 저장하는 기능이다(이호영, 1991).

본 연구에서는 실시간 고해상 해저 탄성파 자료취득 및 디스플레이를 위한 탐사 시스템 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하였다. 탐사경험을 바탕으로 기존 시스템의 기능을 보완하여 분해능을 높이도록 하였다.

자료 취득 시스템의 주요 구성품인 신호 증폭 장치와 기록장치에 대해 구

체적으로 알아보기로 한다.

3.3.1 신호 증폭 장치

신호 증폭 장치의 주요 기능은 송수신 신호의 증폭 조정과 각 채널 On/Off 기능과 TVG(time variance gain) 및 TVG delay(time variance gain delay) 조정 기능을 가지고 있으며 외부 하이드로폰(hydrophone)을 추가 장착할 수 있다. 신호 입력 및 출력 채널은 8개이며 현재 3개를 장착하고 있으며 BNC 커넥터(BNC connector)를 장착하고 있다. GAIN 범위는 0~60 dB, TVG는 0~7단계로 되어 있으며 각 단계는 200ms 증가하며, TVG delay 범위는 0~256ms이다. 대역통과 필터(band-pass filter)는 100Hz~3.5 kHz를 적용하였다.

신호 증폭 장치는 <Appendix 1> Fig. 3에 도식하였으며, 자세한 재원은 <Appendix 1> Table 3에 나타내었다.

3.3.2 기존의 상용화 기록 장치

기존의 상용화 기록장치는 CAP-6600 Chirp II Acoustic Profiling System으로써 총 채널은 2개로 채널 1은 SBP(Sub-bottom Profiler), 채널 2는 Quad-Pulser를 사용하도록 구성되어 있으며 사용되는 소프트웨어는 Chirpscan2로써 파일은 seg-y 포맷 형식으로 저장이 된다.

<Appendix 1> Fig. 4에 CAP-6600 Chirp II Acoustic Profiling System의 본체와 소프트웨어를 도시하였으며, 보다 자세한 재원은 <Appendix 1> Table 4에 나타내었다.

3.3.3 제작된 기록 장치

기록 장치는 내부에 펜티엄4 2.6GHz의 메인 프로세서(main processor)가 장착되어 있으며 512MB의 메모리(memory)와 VGA카드, A/D 변환 카드가 장착되어 음파 송수신 장치에서 아날로그 신호를 입력받아 디지털화 한 후 소프트웨어적인 필터링을 거쳐서 영상으로 표시한다. 고속의 프로세서를 이용함으로써 실시간으로 입력신호를 처리할 수 있다.

채널은 총 8개로써 다중채널 탄성과 탐사를 가능하도록 하였으며, A/D 카드가 24bit로 Dynamic Resolution을 향상시키도록 하였다. 또한 외부의 DGPS로부터 위치 정보를 COM1 Port를 통해 수신하여 데이터를 취득하는 동안에 정확한 위치 정보도 저장이 가능하다. USB CD-RW를 이용하여 탄성과 탐사 자료를 백업 받을 수 있도록 하였다.

운영 체제는 Windows2000pro를 사용하여 다중 작업이 가능하도록 되어있으며 다른 운영 소프트웨어에서도 운용이 가능하다. 또한, 기록 장치의 외부 및 내부에서 고속의 프로세서가 동작될 때에 발생하는 많은 열을 배출하기 위하여 전 후면에 고용량 쿨링팬을 장착하여 과열 현상이 발생되지 않는다.

Fig. 5에 제작한 기록장치를 도식하였으며, <Appendix 1> Table 5에 보다 자세한 재원을 나타내었다.



Fig. 5 The developed recording instrument

3.3.4 A/D 변환기

A/D 변환기의 성능은 신호의 크기 변화 감지정도를 의미하는 분해능 (resolution)과 신호수집의 시간간격을 의미하는 샘플링 주파수에 의해 평가된다. 디지털 탄성과 자료는 산출되는 양이 매우 많으며 높은 정밀도가 필요하므로 자료획득 시스템은 탄성과 신호를 정밀하고 빠른 속도로 기록 매체에 기록할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.

본 연구에서 개발된 기록장치의 A/D 변환기는 PCI 보드 타입으로 NI사의 NI 4472를 사용하여 PC에 탑재하였다. 채널은 총 8개이며 분해능은 24bits이다. 보다 자세한 재원은 <Appendix 1> Table 6에 나타내었다.

3.3.5 운용 소프트웨어

천해저 고해상 탄성과 탐사 자료 기록 시스템은 PC, A/D 변환기 그리고 이를 작동시켜 자료를 기록매체에 기록하는 소프트웨어로 구성된다. 소프트웨어의 주된 역할은 자료취득 매개변수의 결정과 이에 따른 A/D 변환기의 효율적인 작동제어 그리고 탐사자료의 디스플레이와 기록을 하는 것이며, Visual C++를 이용하여 프로그램 되었다.

아날로그 신호처리를 마친 탄성과 신호는 A/D 변환기로 입력되는데, A/D 변환기를 제어하여 아날로그 탄성과 신호를 디지털로 변화하여 저장매체인 하드디스크에 저장하게 된다. 디지털로 변환할 때 여러 가지 매개 변수들이 있고 가장 적당한 매개 변수의 결정하였을 때 신호는 왜곡 없이 저장이 된다. A/D 변환 매개 변수로는 아날로그 입력신호 범위, 발파 간격, 자료 추출 간격, 자료 취득 개수가 있다.

자료 취득 매개 변수를 살펴보면, 발파 간격(short interval)은 0.25s, 0.5s, 1s 등이 있으며, 입력범위는 $\pm 10V$ 로, 자료 추출 간격은 0.01ms로 고정되어져 있다.

본 소프트웨어는 단일 채널 탐사 또는 8채널 탐사까지 가능한 다중 채널 탐사를 할 수 있으므로 디스플레이하고 싶은 채널과 저장하고 싶은 채널을 선택할 수 있다. 파일은 위치 정보와 탄성과 탐사 자료 파일 2가지로 생성이 되며 위치 정보 파일은 텍스트 파일인 "txt" 형식으로 저장되며, 탄성과 탐사 자료 파일은 각 채널이 통합되어 저장되는 파일과 각 채널 번호의 일련번호가 자동적으로 부여되는 각 채널의 탄성과 탐사 자료 파일인 "zt" 형식으로 저장이 된다.

해양 탐사에 있어서는 무엇보다도 위치 정보가 가장 중요시 되는데 GPS에서 들어오는 위치 정보를 시리얼 포트를 통해 입력 받아 해상에서의 위치 정

보와 탄성과 탐사 자료를 PC에 같이 저장하여 정확한 위치를 가진 탄성과 탐사 자료가 될 수 있도록 하였다. GPS 정보는 WGS84 좌표계로 저장되도록 하였다.

구성요소를 크게 살펴보면 위쪽에는 소프트웨어 사용을 좀 더 편리하도록 하기 위해 아이콘 창, 탄성과 탐사 자료의 품질관리를 위하여 입력신호를 디스플레이 하도록 하여 자료 취득 중 신호의 상태를 점검할 수 있도록 하기 위해 왼쪽에는 신호창, 단일 채널의 로우 데이터(raw data)를 볼 수 있도록 오른쪽에는 디스플레이가 되도록 하였으며, 끝으로 아래쪽에는 발파 수, 위치 정보, 디스플레이 심도 등을 나타내는 상태창 등으로 구성하였다(Fig. 6).

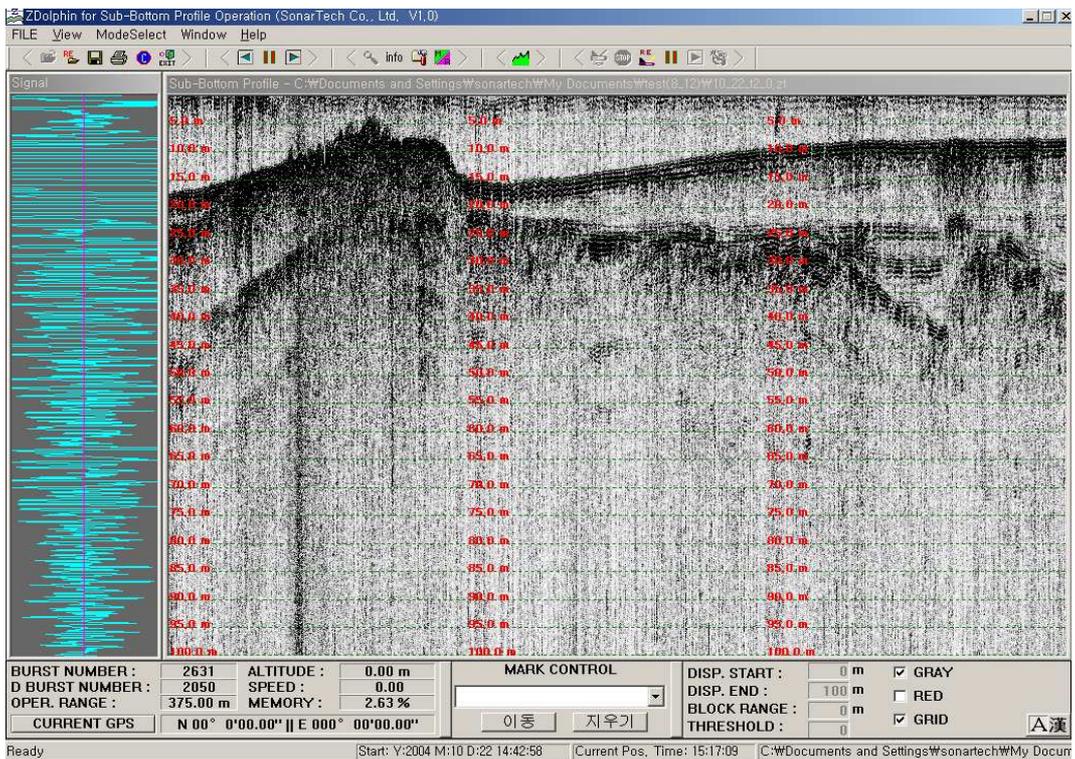


Fig. 6 Screen capture of seismic data acquisition software

4. 현장 자료 취득

4.1 연구 지역

천해저 탄성과 탐사를 위해 제작된 천해저용 음원 및 고분해능 다중채널 기록장치 시스템을 현장 시험 탐사를 위해 소형선박을 이용하여 부산 영도의 해양경찰 부두 부근과 하리항 부근에서 탐사를 각각 Fig. 7과 같이 수행하였다. 해양경찰 부두 부근에서는 크루즈 부두 공사 현장과 평행하도록 설정하였으며, 측선명을 Line A, B로 하여 2개의 측선을 총 0.8Km로 실시하였다. 또한 하리항 부근에서는 측선명을 Line C, D로 하여 2개의 측선을 총 2Km로 실시하였다.

해양경찰 부두 부근은 수심이 약 12~17m 정도의 분포를 보인다. Fig. 8은 지하기술정보(주)(2003. 08)에서 해저 굴절법 탐사를 수행한 결과로서, 바다와 가까운 쪽으로 갈수록 기반암 심도가 점점 깊어지며 기반암 분포가 30~40m 정도가 된다는 것을 알 수 있다. 그리고 하리항 수심은 약 20~35m 정도의 분포를 보인다.

4.2 자료취득변수

현장탐사에 사용한 장비는 3장에서 설명한 자료 취득 시스템을 이용하여 수행하였으며 원래 정확한 발파점에서 발파가 이루어져야 하나 탐사선의 속도를 가능한 한 균일하게 하고 등시간 간격으로 발파함으로써 등거리 간격의 발파와 유사한 효과를 얻을 수 있다(이호영 외, 2002). 현장 시험 탐사에 사용한

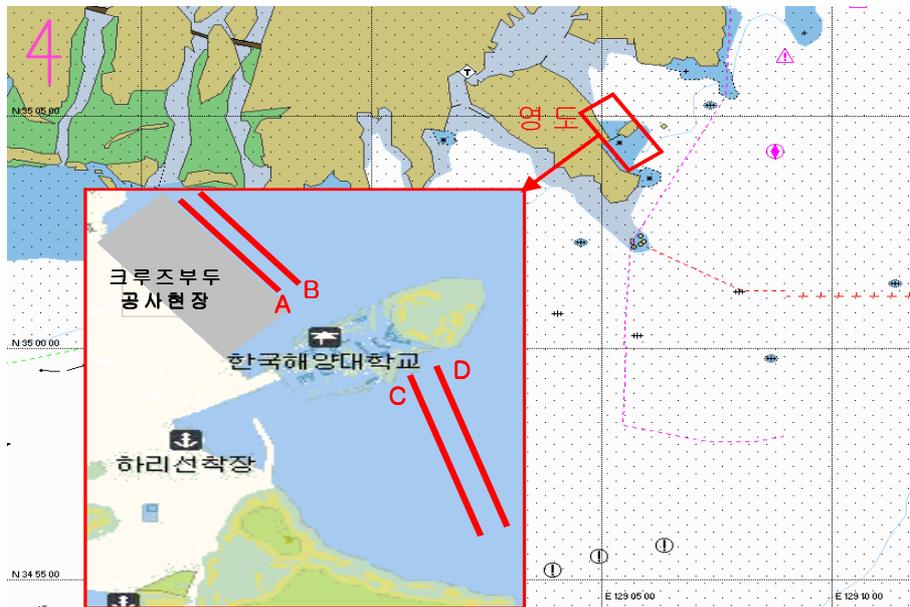


Fig. 7 Survey area and survey line for field application

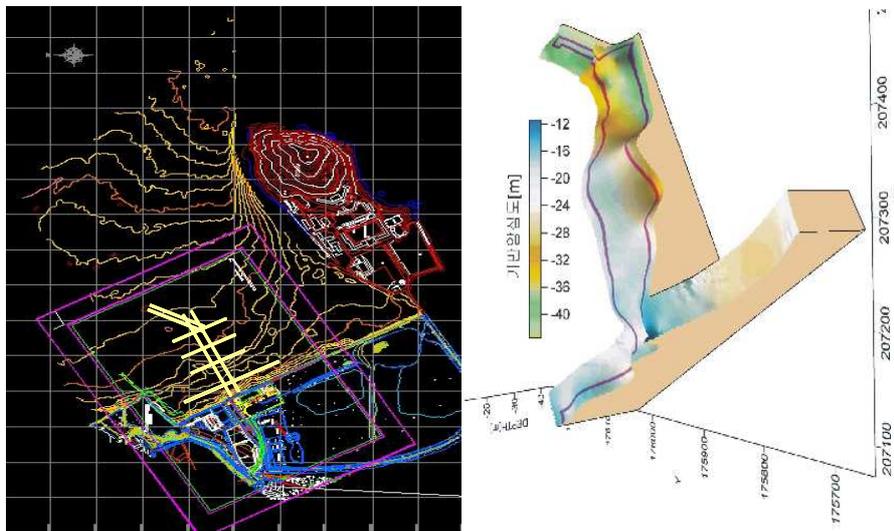


Fig. 8 Water bottom seismic refraction survey

(left : survey area, right : 3-dimensional iso-surface volume of bed rock)

자료취득변수는 Table 3에 나타낸 바와 같이 발파 간격은 0.5s의 등시간 간격으로 하여 탐사속도를 약 4~5노트(knots)로 유지함으로써 약 1m 또는 1.25m마다 발파가 이루어지도록 하였다. 자료추출간격은 16bits A/D 변환기인 기록장치 0.1ms, 24bits A/D 변환기인 기록장치는 0.01ms로 하였으며, 기록시간은 전자는 4.096s, 후자는 0.5s로 하였다.

Table 3. Data acquisition parameter for field test

Survey area	Marine Police		Ha-Ri	
Line Name	Line A, B		Line C, D	
Survey vessel speed	4-5 knots(2.062-2.5775 m/s)			
Source	Boomer(uni/dual/tri)			
Shot interval	0.5 s			
Preamplifier	30 dB		20dB	
Recording instrument	16 bits	24bits	16 bits	24bits
Sampling interval	0.1 ms	0.01 ms	0.1 ms	0.01 ms
Record length	409.6 ms	500 ms	409.6 ms	500 ms

4.3 음원-수신 장치의 위치와 거리에 따른 탄성과 단면도 비교

천부 해저지층 영상의 해상도는 현장자료취득변수에 따라 큰 차이를 보이므로 탐사심도, 탐사지역의 범위 등 탐사목적에 따라 적절한 자료취득변수를 사용하여야 한다. 또한 수심이 얇은 경우는 음원-수신 장치의 위치와 거리를 정확히 적용하면 품질을 향상시킬 수도 있다(이호영 외, 2002).

본 연구에서는 음원-수신 장치의 위치와 거리를 정확히 선정하기 위해 Fig. 9와 같이 음원-수신 장치의 위치를 일직선으로 하였을 때와 대각선으로 하였을 때로 나누고, 다시 음원-수신 장치의 거리를 각각 5m, 10m, 15m로 하였을 때로 나누어 총 6가지의 경우의 수로 현장탐사를 수행하였다.

Fig. 10은 측선 Line A에 대한 음원-수신 장치의 위치와 거리에 따른 항적의 일부분을 나타내며 Fig. 15는 그에 따른 각각의 탄성과 단면도를 나타낸 것이다. 음원은 듀얼 부머를 사용하였으며, 기록장치는 A/D변환기가 16bits인 기록장치로 수행하였다. 취득한 데이터의 개수는 트레이스 당 4096개이므로 기록시간을 100ms까지로 재설정하였으며 발파수는 675개까지 재설정하였다. 세로축은 왕복주시(two way travel time)로 나타내었고 가로축은 발파수(shot number)로 나타내었다.

Fig. 11을 살펴보면 음원-수신 장치의 거리가 5m인 경우(Fig. 11 (a)와 (b))가 10m인 경우(Fig. 11 (c)와 (d))와 15m인 경우(Fig. 11 (e)와 (f))보다 반사 이벤트가 보다 뚜렷이 나타남을 보인다. 하지만, 음원-수신 장치의 위치를 고려하였을 시 음원-수신 장치의 위치를 일직선으로 하게 되면 탐사선의 방향 전환 시 음원과 수신 장치 간의 충돌이 가끔씩 발생하여 수신 장치의 안전성에 문제가 우려되며, 또한 너울과 조류 등의 현장 환경에 의해 탐사선의 스크류(screw) 영향을 받기도 한다. 따라서 본 연구에서는 음원-수신 장치를 대각선 5m로 선정하였다.

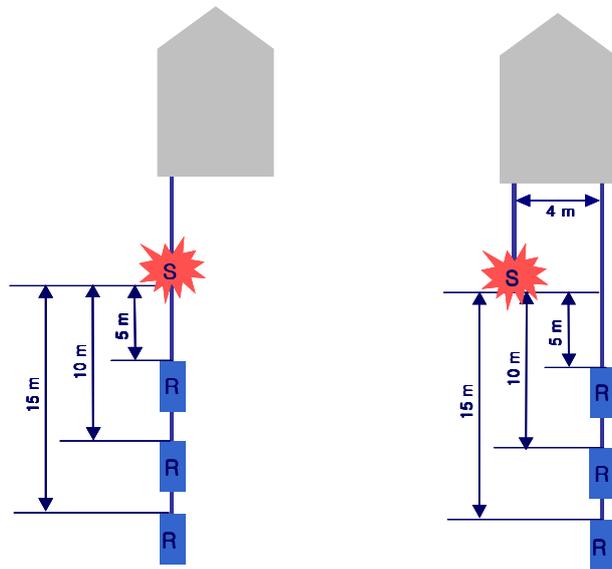


Fig. 9 Source-Receiver configuration(left : straight, right : diagonal)

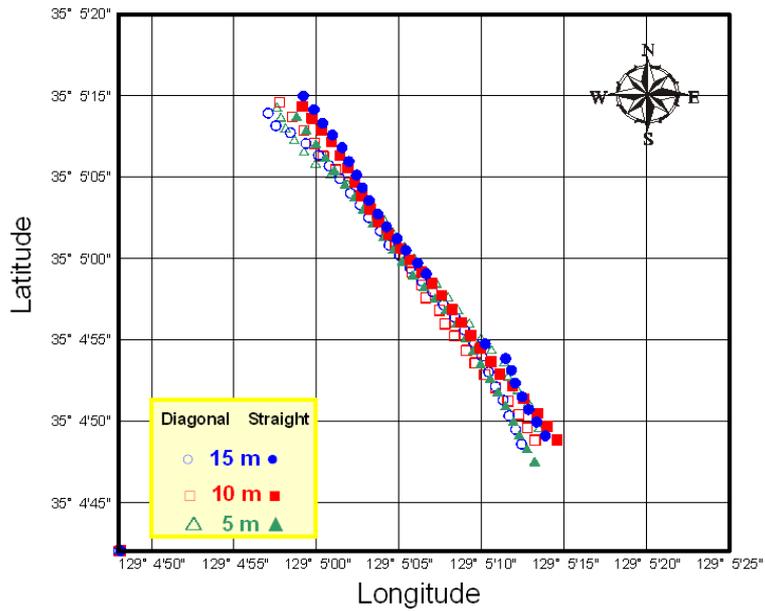


Fig. 10 Track chart of Line A for variation with source-receiver offset

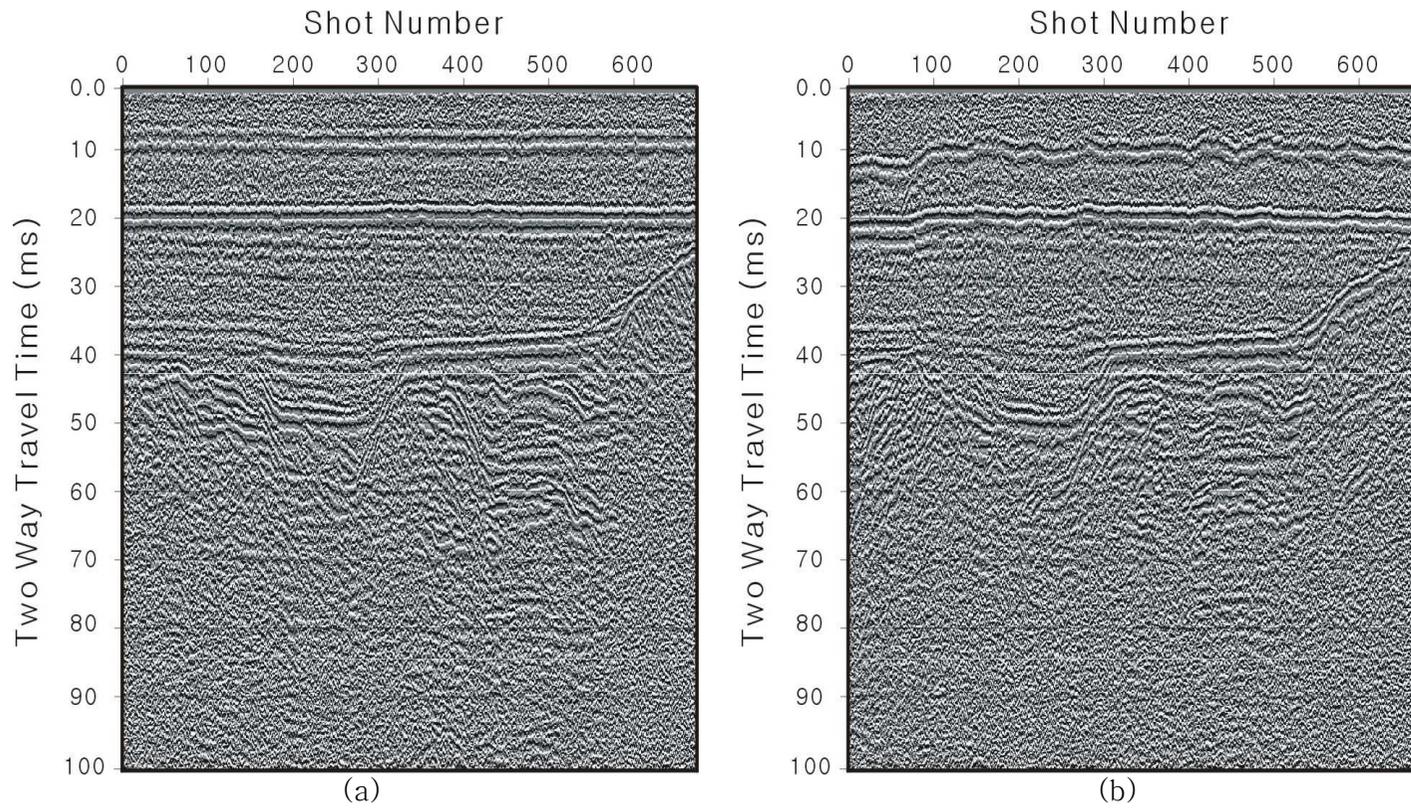


Fig. 11 Seismic sections of Line A source-receiver offset in

(a) 5m straight

(b) 5m diagonally

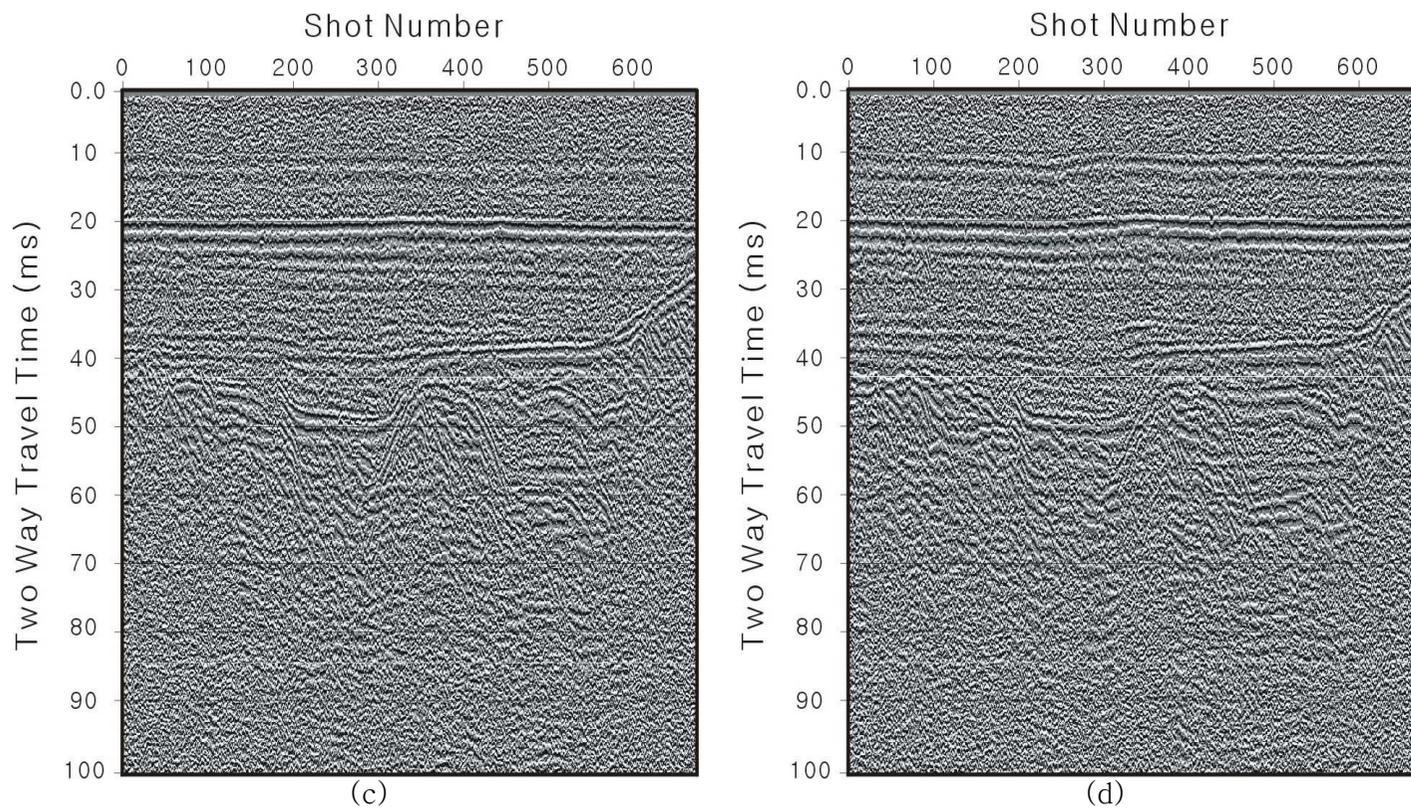


Fig. 11 Continued

(c) 10m straight

(d) 10m diagonally

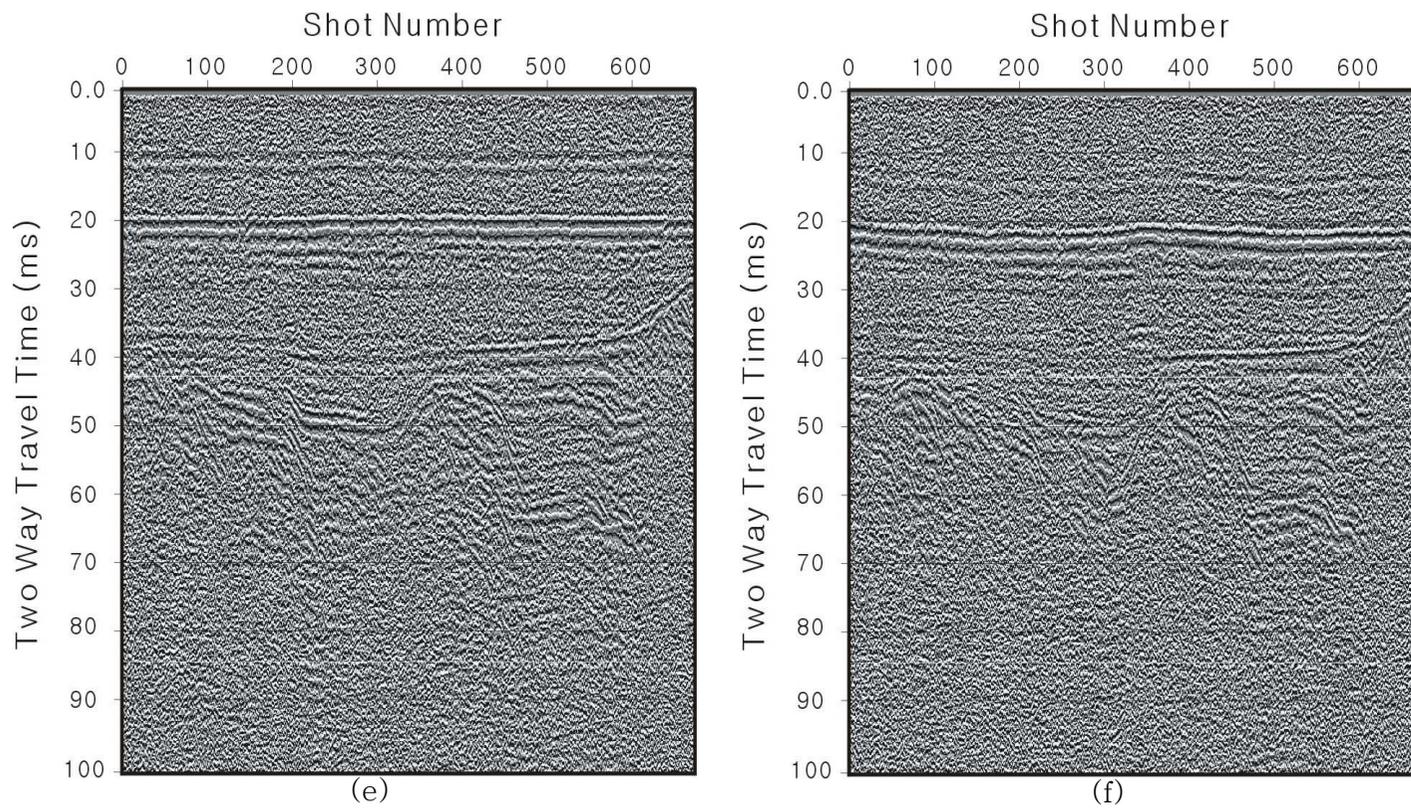


Fig. 11 Continued

(e) 15m straight

(f) 15m diagonally

4.4 A/D 변환기에 따른 해상도 비교

A/D 변환기의 분해능(resolution)에 따른 해상도 차이를 알아보기 위하여 Fig. 12와 같이 탄성과 단면도를 제작한 후 이를 비교하였다. 이 자료는 듀얼 부머를 음원으로 사용하였으며 가로축은 발파수로 337개로 재설정하였다. 제작된 24bits A/D 변환기인 기록장치는 자료추출간격이 0.01ms이므로 취득된 현장자료를 전산처리하여 16bits A/D 변환기인 기록장치의 자료추출간격인 0.1ms와 동등하도록 재추출하여 기록시간을 100ms로 재설정하였다.

Fig. 12 (a)는 상용화된 제품의 탄성과 단면도이며 (b)는 A/D 변환기의 분해능이 24bits인 제작된 시스템의 탄성과 단면도이다. 두 단면도를 살펴보게 되면 약 20ms 지점에서 해저면의 반사 이벤트가 나타나며 그 아래 약 30~40ms와 45ms 지점에서 다른 지층의 반사 이벤트가 각각 나타난다는 것을 알 수 있다.

하지만 두 단면도를 비교하면 Fig. 12 (b)가 반사 이벤트를 더 잘 나타나기 때문에 지층 구조의 경계면들을 더 잘 보여준다는 것을 알 수 있다. 따라서 제작된 기록장치와 상용화된 기록장치를 비교함으로써 제작된 기록장치의 성능을 검증할 수 있었으며, 분해능 역시 현저히 우수하다고 판단된다. 그래서 이후의 탄성과 단면도는 제작된 시스템에 의해 취득한 것으로 나타내었다.

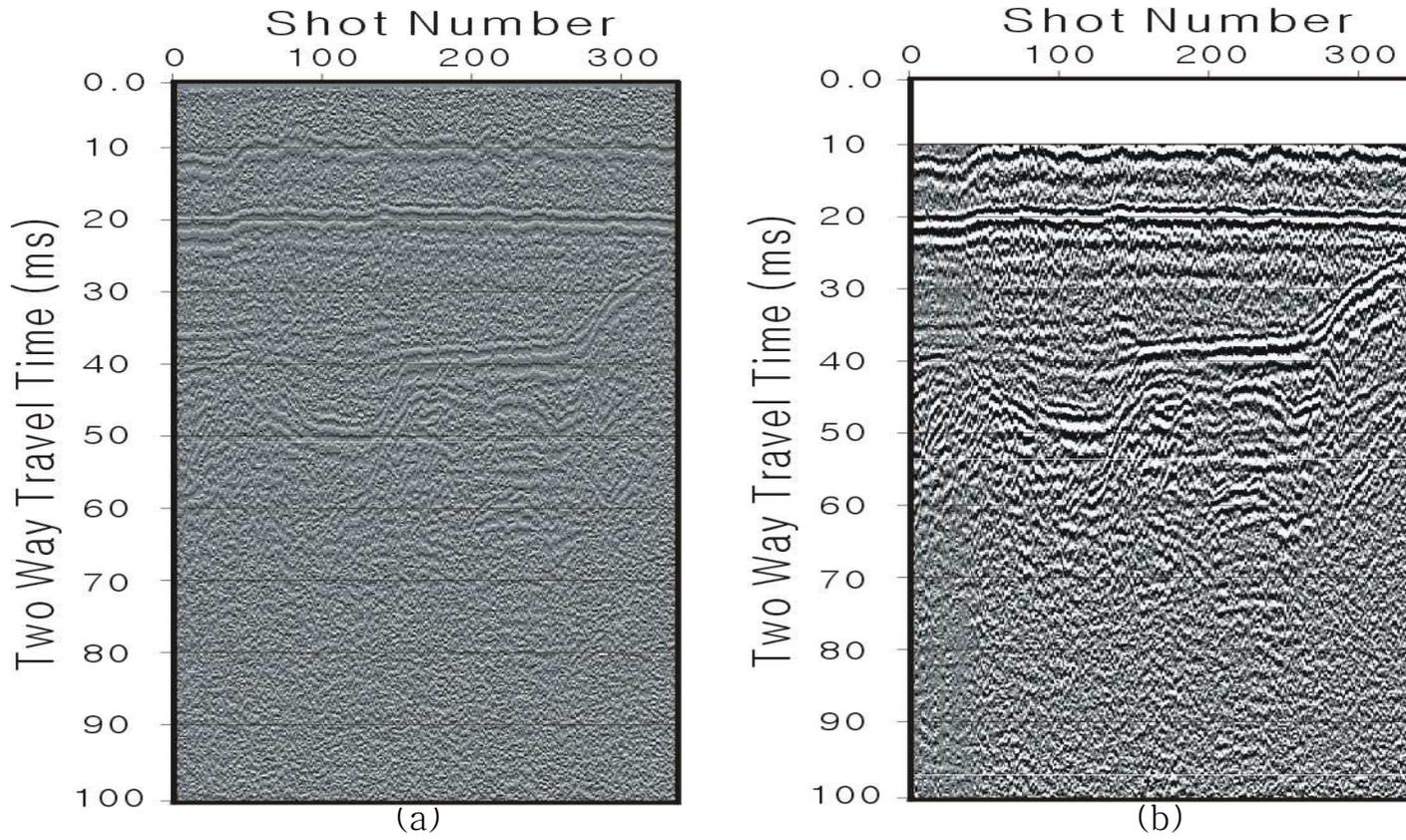


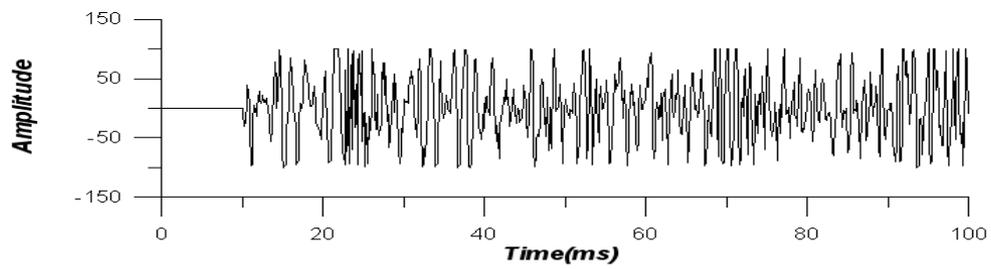
Fig. 12 Seismic section of Line A using
(a) 16 bits A/D converter (b) 24 bits A/D converter

4.5 수심에 따른 트랜스듀스의 조합

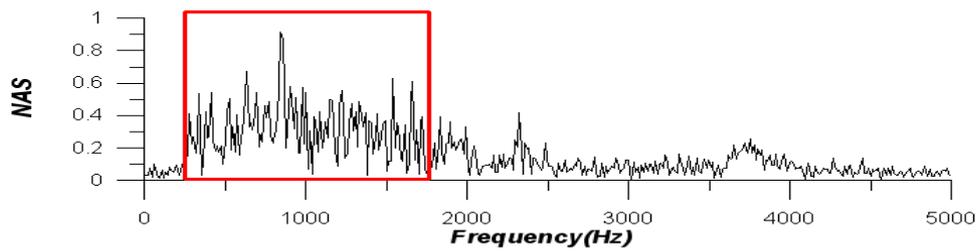
현장 수심과 탐사 목적에 따라 음원을 사용하기 위해 수심에 따라 트랜스듀스의 개수를 달리하여 해양경찰 부두 부근과 하리항 부근에서 현장탐사를 수행하였다.

먼저 데이터(raw data)의 정확한 주파수 특성을 알아보기 위하여 Fig. 13 (a), (c), (e)의 자료를 푸리에 변환시켜 Fig. 13 (b), (d), (f)로 나타내었다. Table 10에는 신호가 대체로 많이 들어오는 주파수의 범위와 가장 강한 주파수를 나타내었다. Table 4를 살펴보면 트랜스듀스의 개수가 많아질수록 신호가 들어오는 주파수의 범위의 폭이 점점 작아지면서 저주파 대역으로 간다는 것을 알 수 있으며 또한 최대 주파수 역시 쿼드 펄스의 주 주파수 대역인 400 Hz로 근접해진다는 것을 알 수 있다.

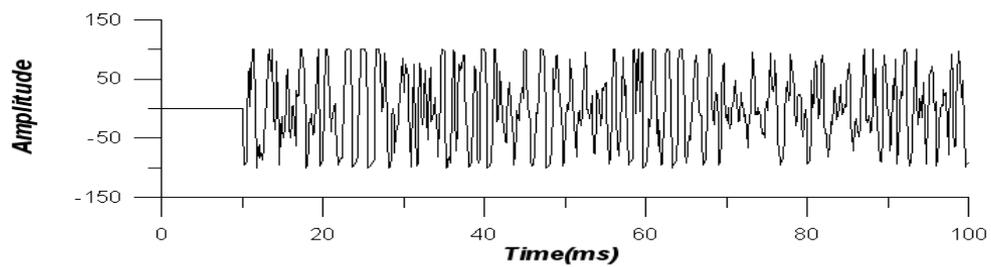
Fig. 14는 해양경찰 부두 측선 Line A에 대한 트랜스듀스의 개수를 달리하였을 때의 항적의 일부분이며 Fig. 15는 각각의 탄성과 단면도이다. Fig. 15를 살펴보면 트리 부머인 경우(Fig. 15 (c))는 유니 부머(Fig. 15 (a)), 듀얼 부머(Fig. 15 (b))와 비교하였을 때 저주파인 경우에도 불구하고 단면도상에서 전체적으로 반사 이벤트가 다른 단면도에 비해서 잘 나타나지 않는다고 할 수 있다. 그 이유로는 트랜스듀스의 배열에 있어서 간격이 좁아서 음파가 전파되면서 서로의 간섭에 의한 영향이라고 추정할 수 있다. 그리고 Fig. 15 (a)와 (b)를 살펴보면 단면도상에서 전체적으로 반사 이벤트가 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 수심이 비교적 얇은 약 15m 지점에서는 유니 부머와 듀얼 부머를 사용이 가능하다고 추정할 수 있다. 그리고 트리 부머는 트랜스듀스가 3개이므로 중량이 무거워져 운용 및 이동에 대한 문제점과 탐사선에서 투하 및 회수 시 인력으로는 도저히 불가능하였으며 예인 시 조류 영향에 의해 침수되어 음파의 전달에 문제점 역시 발생하였다. 그리하여 수심이



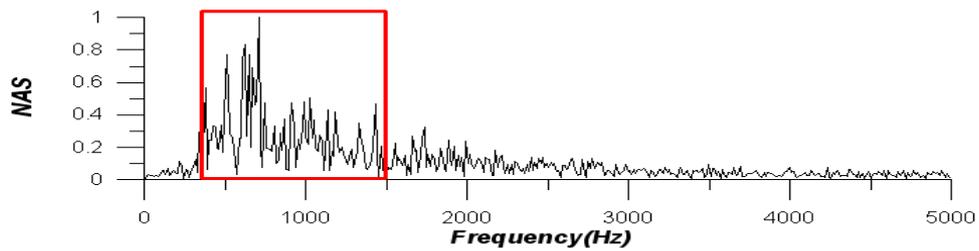
(a)



(b)



(c)



(d)

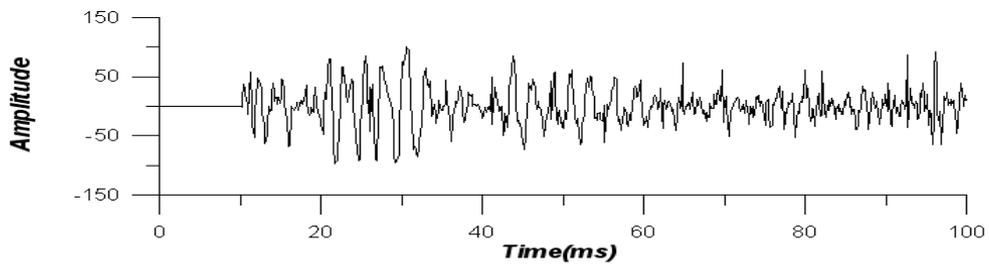
Fig. 13 Raw data and frequency spectrum

(a) uni-boomer data

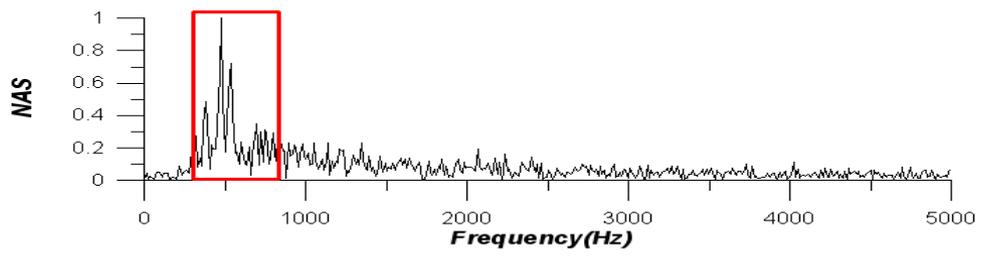
(b) frequency spectrum of (a)

(c) dual-boomer data

(d) frequency spectrum of (b)



(e)



(f)

Fig. 13 Continued

(e) tri-boomer data

(f) frequency spectrum of (e)

Table 4. Frequency characteristic with respect to the number of transducer

The number of transducer	Frequency range(Hz)	Max. frequency(Hz)
1	250 - 1,600	850
2	300 - 1,500	710
3	300 - 900	480

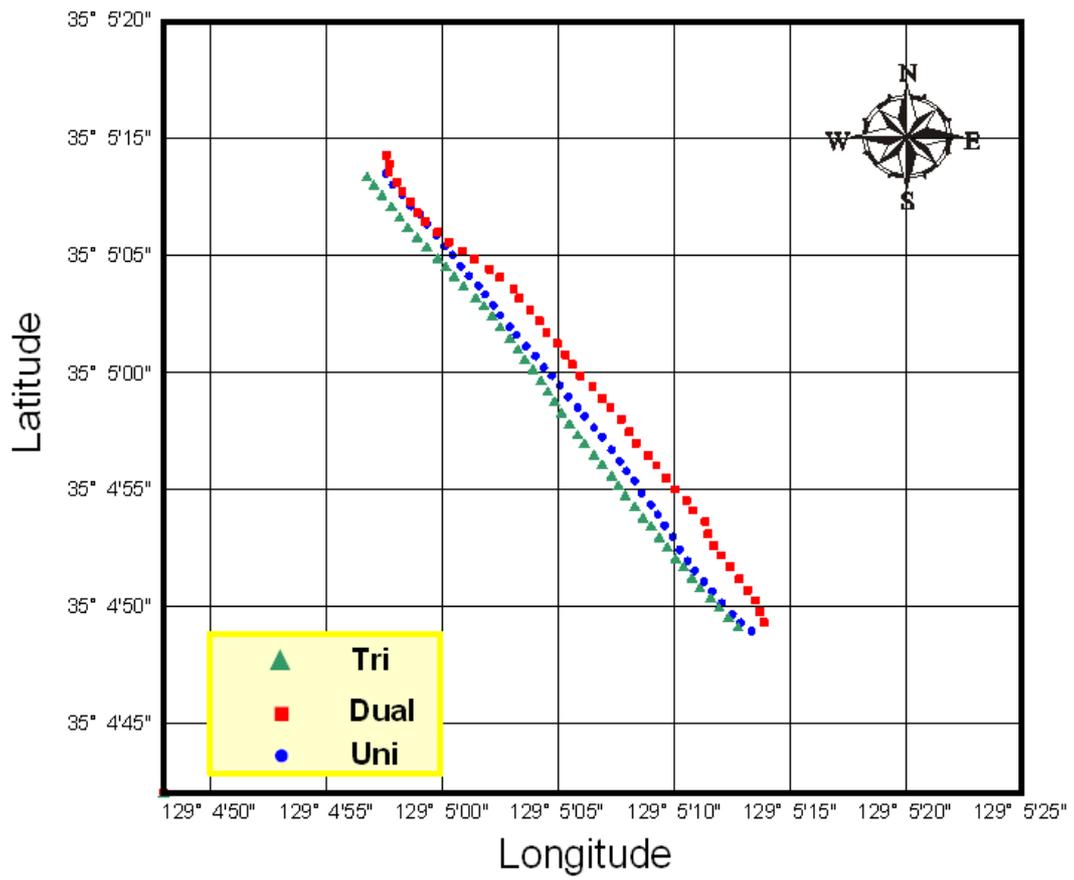


Fig. 14 Track chart of Line A for demonstrating the effect of the number of transducer

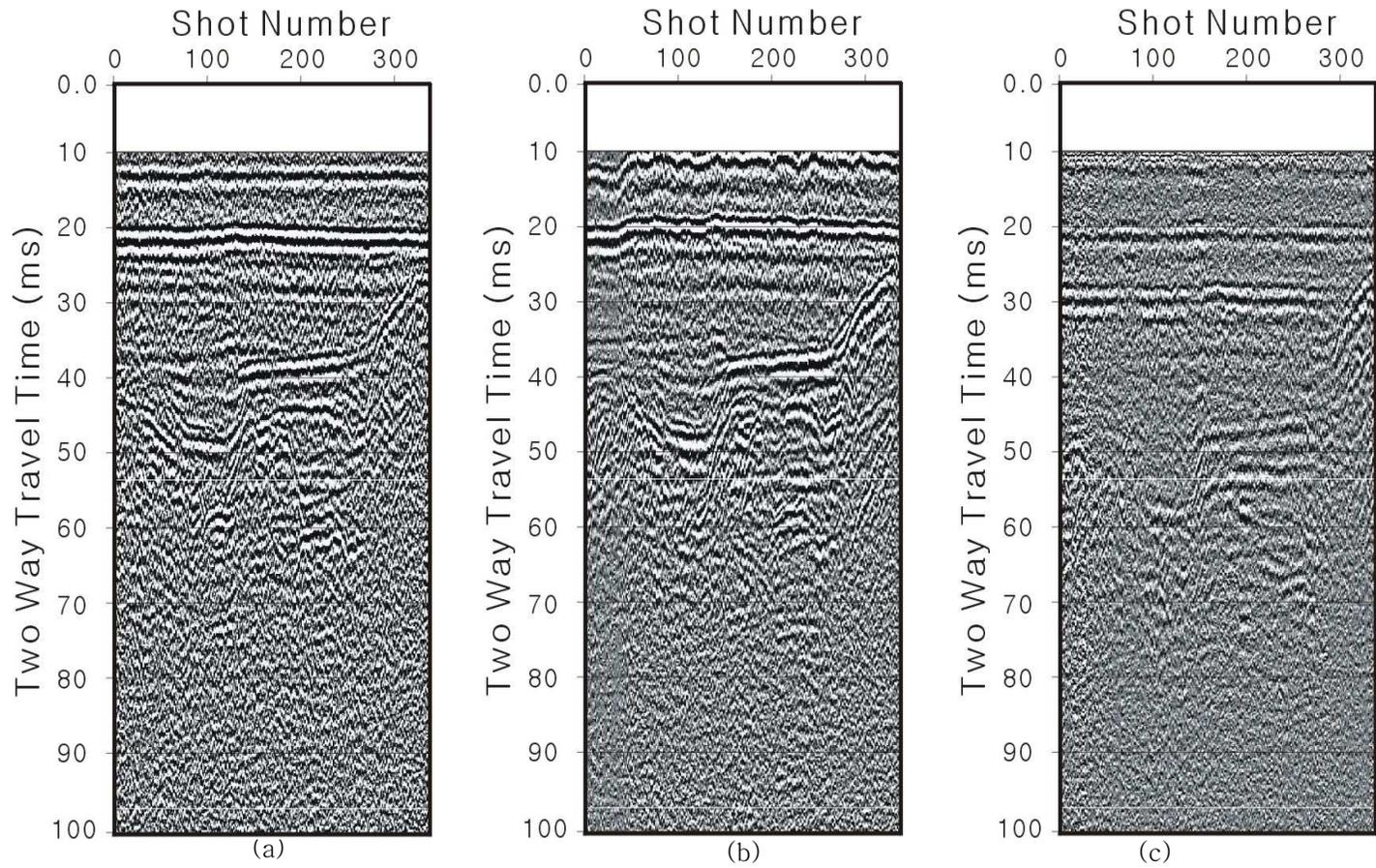


Fig. 15 Seismic sections of Line A

(a) uni-boomer (transducer 1)

(b) dual-boomer (transducer 2)

(c) tri-boomer (transducer 3)

더 깊은 하리항 부근에서의 현장탐사에서는 트리 부머를 제외시켰다.

Fig. 16은 하리항 측선 Line D에 대한 트랜스듀스의 개수를 달리하였을 때의 항적 일부분이며 Fig. 17은 각각의 탄성과 단면도이다. 발파수는 1100개이며 기록시간은 100ms로 재설정하였다. Fig. 17을 살펴보면 약 43~58ms 지점에서 해저면의 반사 이벤트가 나타나며 그 아래 약 50~65ms 지점에 다른 지층의 반사 이벤트가 나타난다는 것을 알 수 있다. 듀얼 부머인 경우(Fig. 17 (b))는 유니 부머인 경우(Fig. 17 (a))와 비교하였을 때 단면도상에서 전체적으로 반사 이벤트가 강하게 나타나며 더 깊이까지 투과된다는 것을 확인할 수 있다. 그 이유로는 수심이 깊어짐에 따라 음파 전달이 더 많아지기 때문에 음원의 에너지가 클수록 반사 이벤트가 더 강하게 나타나고 더 깊이까지 투과될 수 있다고 추정할 수 있다.

두 지역을 현장 탐사한 결과, 수심 10~20m 지점에서는 유니 부머와 듀얼 부머 자료의 반사 이벤트가 비교적 명확하였으며, 수심 20~40m 지점에서는 듀얼 부머 자료의 반사 이벤트가 상대적으로 더 명확하였다.

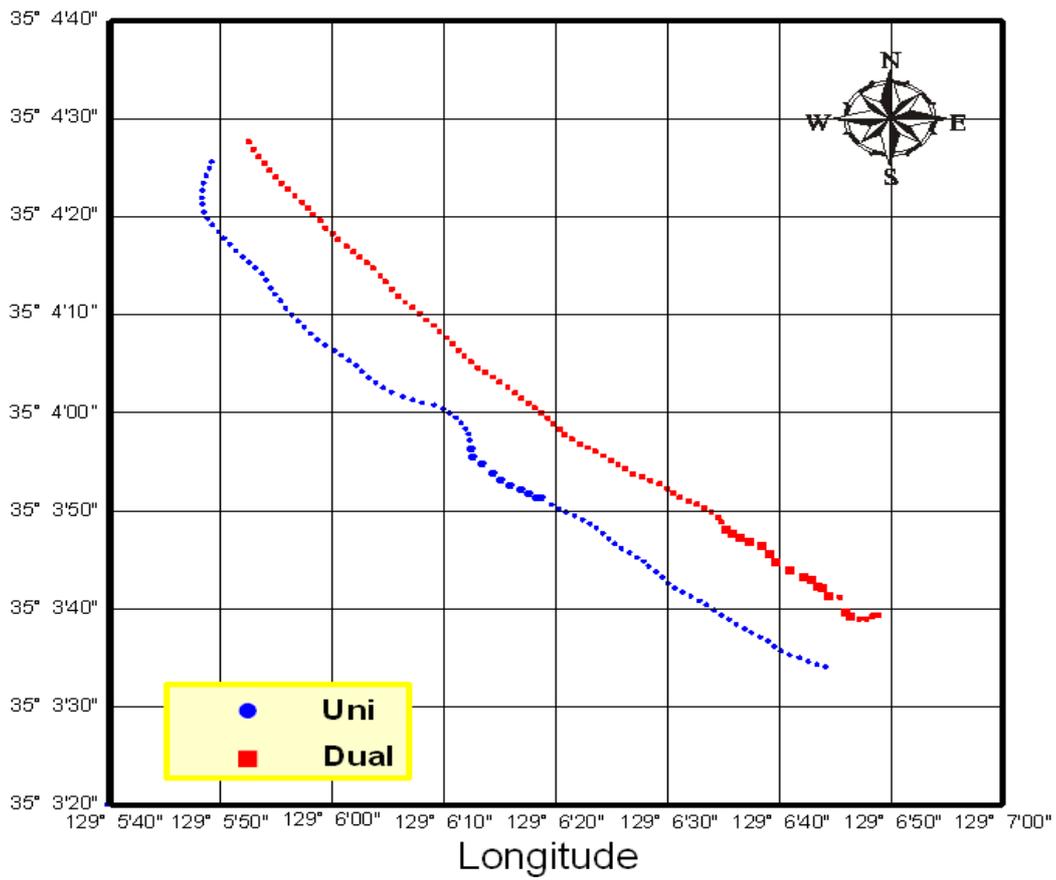
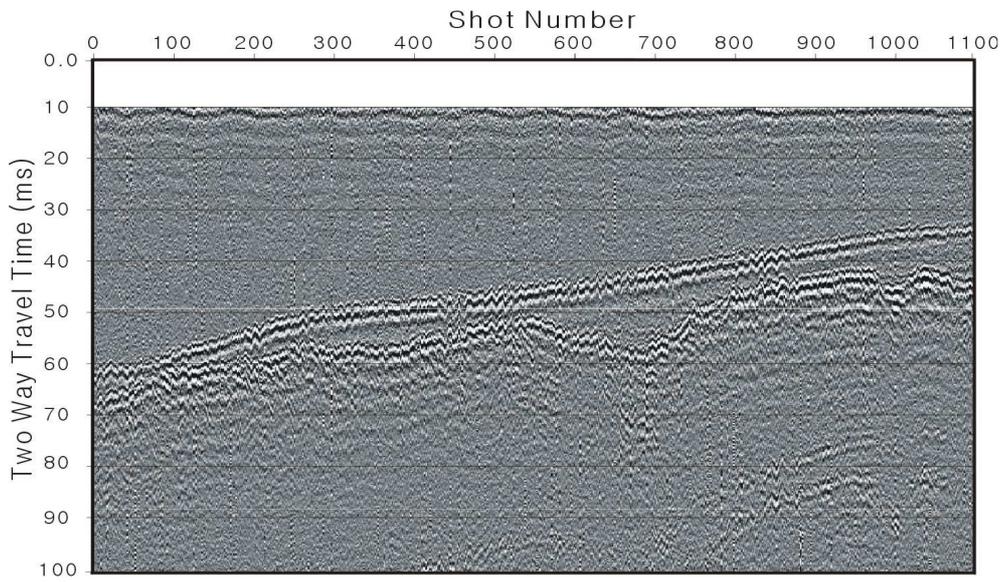
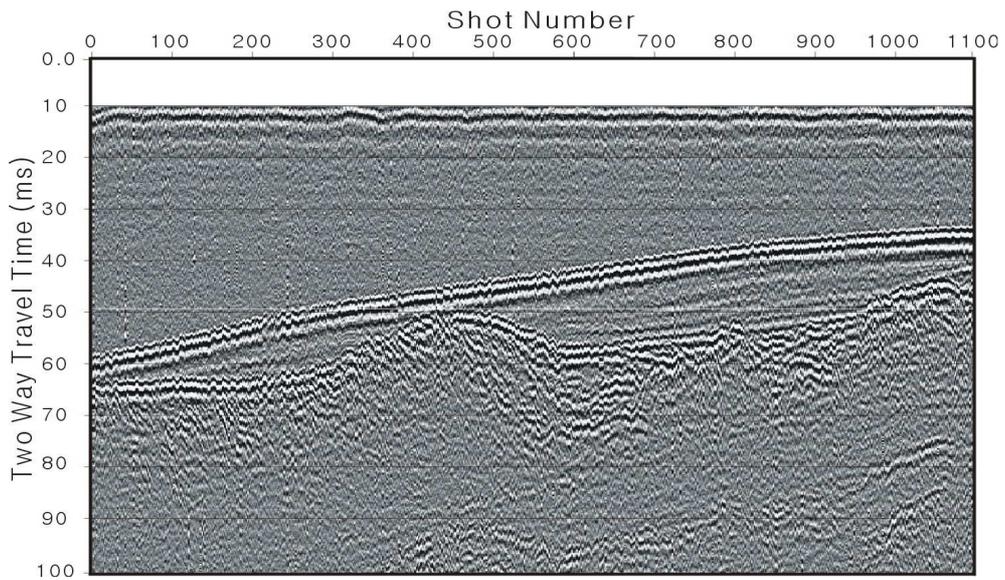


Fig. 16 Track chart of Line D for the effect of the number of transducer in relatively deep water depth



(a)



(b)

Fig. 17 Seismic sections of Line D

(a) uni-boomer(transducer 1)

(b) dual-boomer(transducer 2)

5. 자료 처리

현재 국내에서는 엔지니어링 탐사를 목적으로 하는 해양탄성과 반사법탐사는 일반적으로 단일채널로 자료를 취득하며, 특별한 자료 처리 없이 탄성과 단면도를 그림 파일이나 일반적인 소프트웨어를 이용하여 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 천해저라는 현장여건을 고려하였을 때 필요한 기본적인 자료 처리인 너울 필터링(swell filtering), 디지털 필터링(digital filtering), 디콘볼루션(deconvolution) 등을 하였다. 본 연구에서 취득한 자료의 처리 과정은 Fig. 18과 같다.

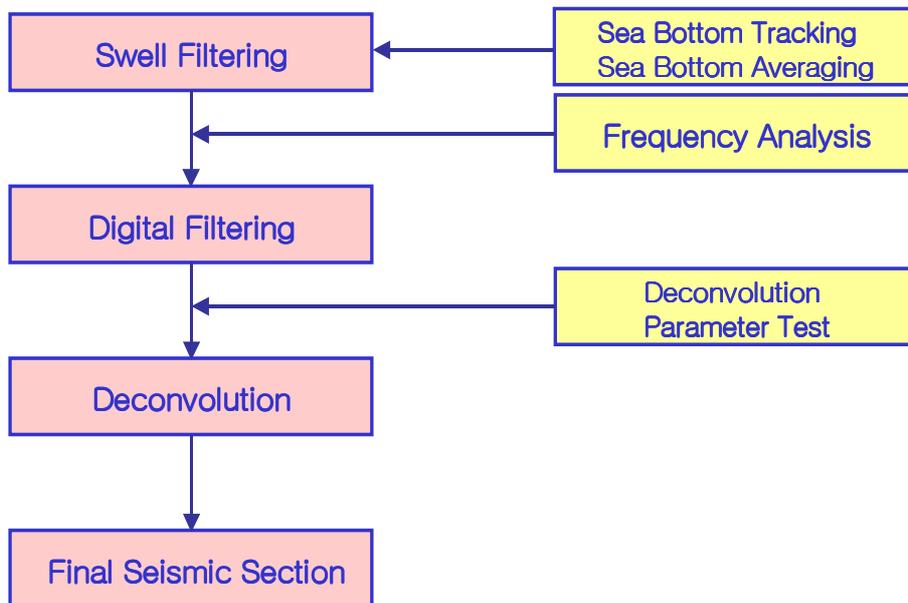


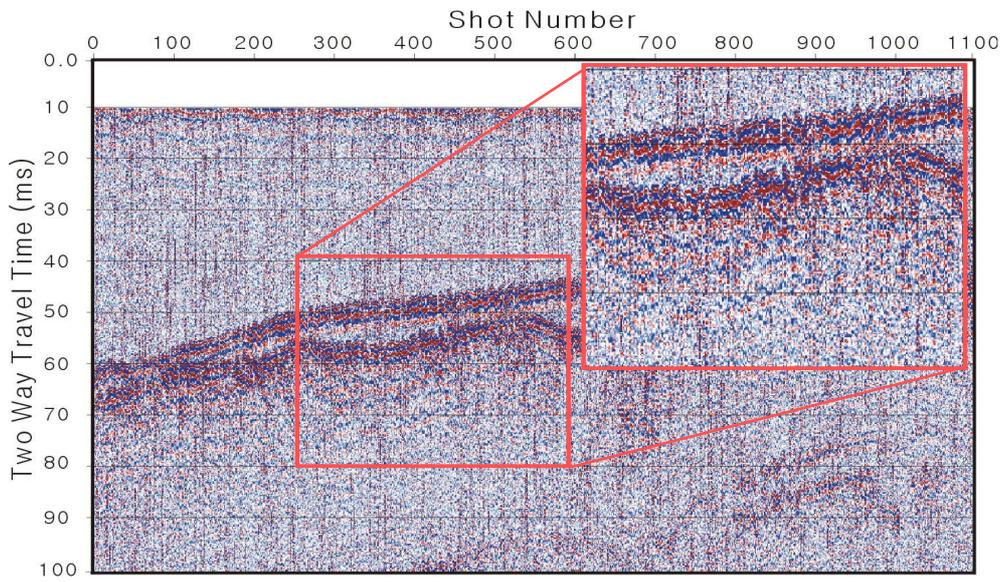
Fig. 18 Flow chart of data processing

5.1 너울 필터링

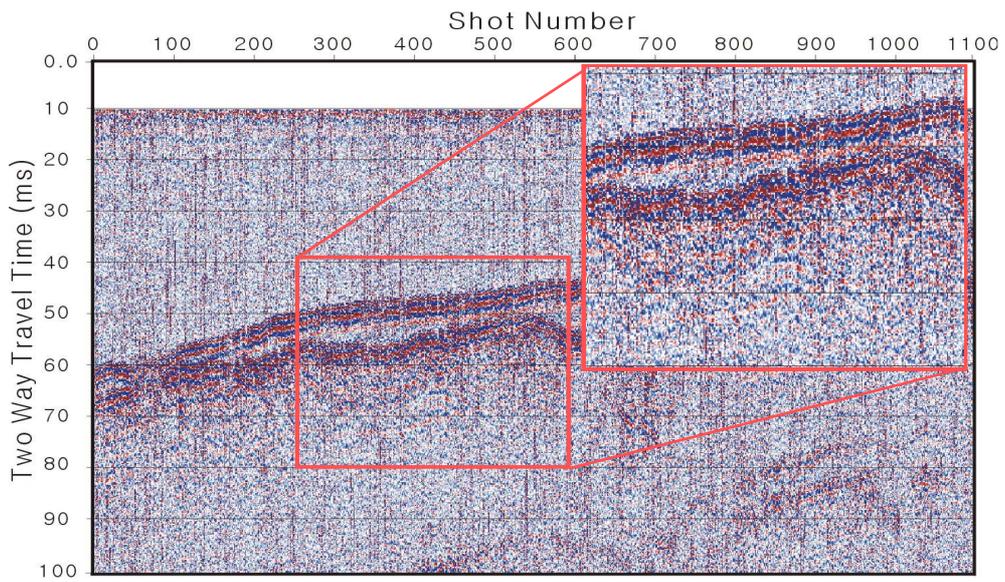
천해저 탄성과 탐사는 일반적인 석유 탐사에 비해 자료추출간격과 기록시간이 작기 때문에 해상일기에 따라 너울(swell)의 영향을 많이 받는다. 즉 파도는 잡음을 일으킬 뿐 아니라 음원과 수신 장치의 위치를 상하로 변동시킴으로써 왕복주기를 변화시킨다(이호영, 1993).

이러한 너울 효과를 제거하기 위한 방법으로는 일정 윈도우(window)의 심도를 평균하여 평균값과의 차이를 가감하는 인접심도 평균법, 너울 효과에 대한 주파수 분석을 실시하여 너울 효과 주파수 이상의 주파수 성분을 제거하는 고주파 제거 필터링법 등이 있다. 너울 효과 제거에서는 해저면의 반사 이벤트를 추출하는 것이 가장 중요하다. 해저면의 반사 이벤트를 추출하는 방법으로는 해저면 반사 이벤트와의 상호상관을 실시하여 상관성이 최대가 되는 곳이 해저면이라는 원리를 이용하는 상호상관법, 해저면 반사 이벤트의 에너지를 이용하는 최대 진폭법, 지층 단면도의 색상을 이용한 이미지 색상 추출법 등이 있다(이호영 외, 2002; 김현도, 2004).

본 연구에서는 최대 진폭법을 이용하여 모든 트레이스에 대한 해저면 반사파의 왕복주기를 구하여 인접심도 평균법을 사용하여 너울 효과를 제거하였다(이호영, 1993). 하지만, 해저면의 변화가 심한 지역에서는 너울영향과의 구분이 어려워 정확한 보정이 어렵다. Fig. 19는 유니 부머로 취득한 자료로써, Fig 19. (a)와 (b)는 너울 필터(swell filter) 적용전과 적용후의 예를 나타낸 것이다. Fig 19. (a)의 확대 부분을 살펴보면 너울영향에 의해 해저면이 고르지 않음을 볼 수 있는 반면, Fig 19. (b)의 확대 부분을 살펴보면 너울영향이 제거되었으며 전체적으로 지층의 연속성이 향상됨을 볼 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 19 Swell filter effect of uni-boomer data

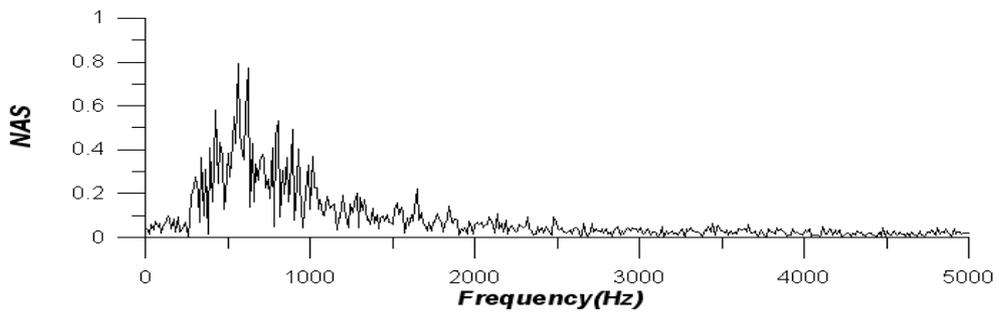
(a) before swell filter

(b) after swell filter

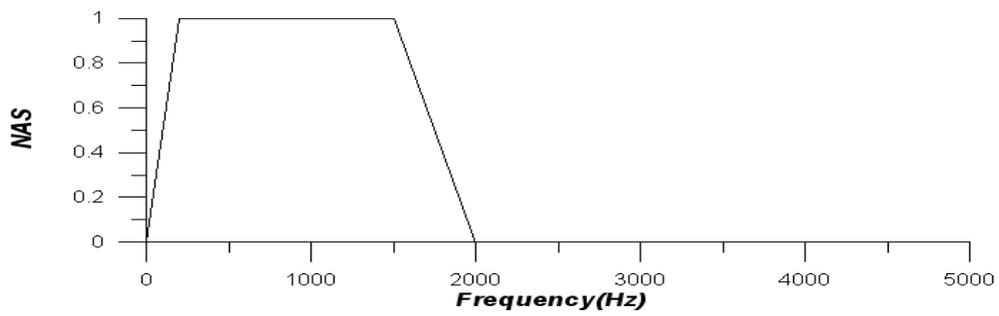
5.2 디지털 필터링

일반적으로 탄성파탐사 자료는 어느 정도의 잡음을 포함하고 있다. 따라서 디지털 필터링(digital filtering)을 통해 신호대 잡음(S/N)의 비를 향상시킬 수 있다. 이러한 디지털 필터링은 주어진 차단 주파수보다 낮은 주파수 대역은 통과시키고 이보다 높은 주파수 대역은 감쇠시키는 저주파통과 필터(low-pass filter)와 이와 반대로 주어진 차단 주파수보다 높은 주파수 대역은 통과시키고 이보다 낮은 주파수 대역은 감쇠시키는 고주파통과 필터(high-pass filter)가 있다. 그리고 특정한 두 차단 주파수 사이에 있는 주파수 대역의 신호는 감쇠없이 통과시키고 그 이외의 모든 주파수에 대해서는 감쇠시키는 대역통과 필터(band-pass filter) 등 세 가지의 종류가 있다. 디지털 필터링은 시간 영역에서의 신호를 푸리에 변환(fourier transform)을 통하여 주파수 영역으로 변환한 다음 필터 대역을 제외한 주파수 부분을 제거하여 다시 역 푸리에 변환을 통하여 시간 영역으로 복원하는 것으로 수행된다(김기영, 1992).

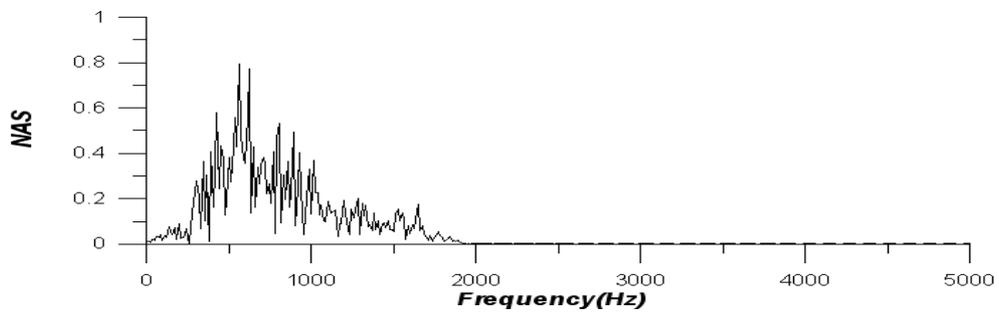
본 연구에서는 대역통과 필터를 사용하였으며 필터 대역은 0 - 200 - 1500 - 200으로 하였다. Fig. 20 (a)는 듀얼 부머로 취득한 탄성파 단면도인 Fig. 21 (a)의 450번째 트레이스의 주파수 분석을 실시한 것이며, Fig. 20 (b)는 사용된 대역통과 필터를 나타낸 것이며, Fig. 20 (c)는 대역통과 필터를 적용한 결과이다. Fig. 21 (a)와 (b)는 너울 필터링 후 대역통과 필터 적용전과 적용 후의 예를 나타낸 것이다. Fig. 21 (a)와 (b)를 각각 비교하면 Fig. 25 (b)에서 고주파 성분이 많이 제거되어 신호대 잡음비가 향상됨을 볼 수 있다.



(a)



(b)



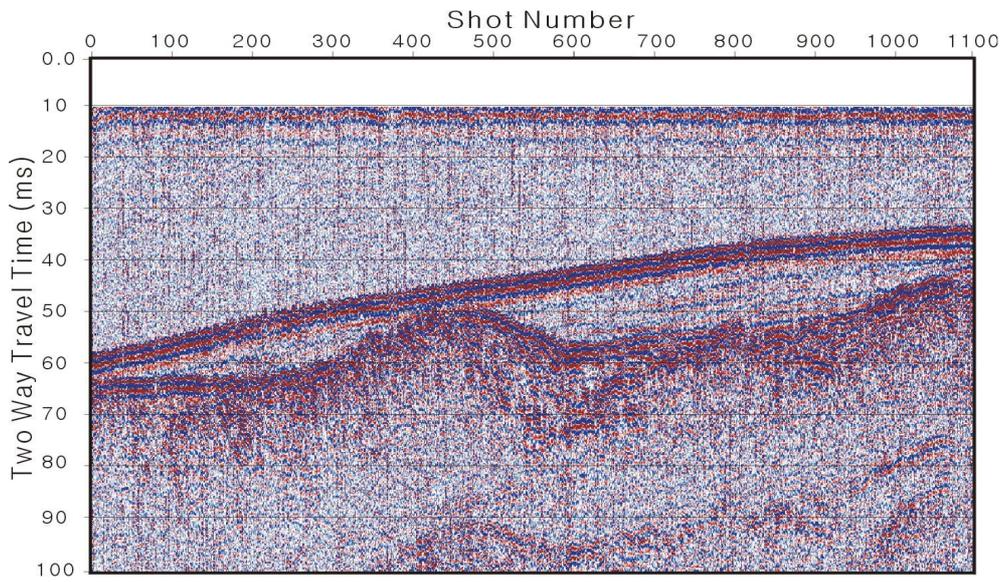
(c)

Fig. 20 Frequency spectrum of band-pass filter effect of dual-boomer data

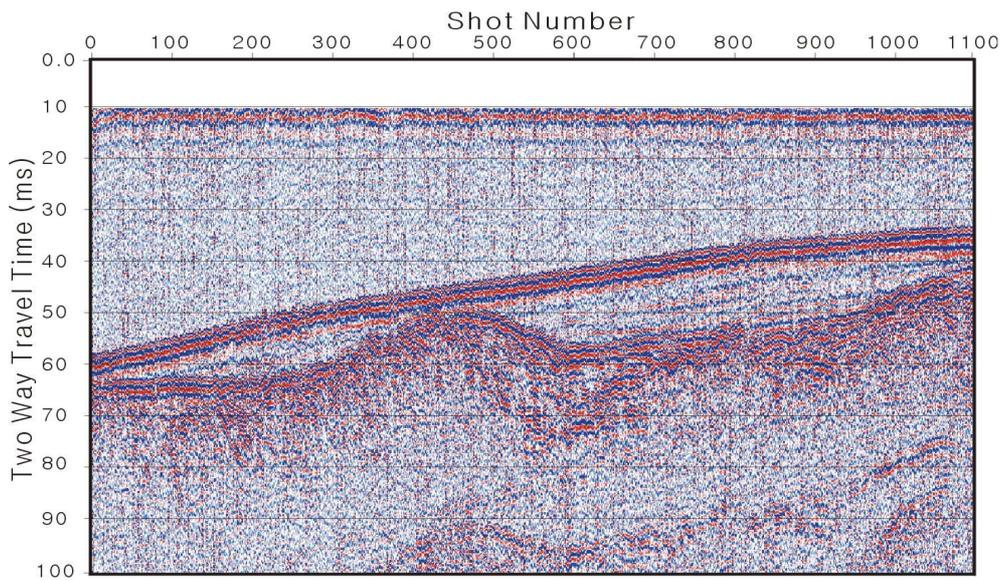
(a) before band-pass filter

(b) band-pass filter(200Hz to 1500Hz)

(c) after band-pass filter



(a)



(b)

Fig. 21 Band-pass filter effect of dual-boomer data

(a) before band-pass filter

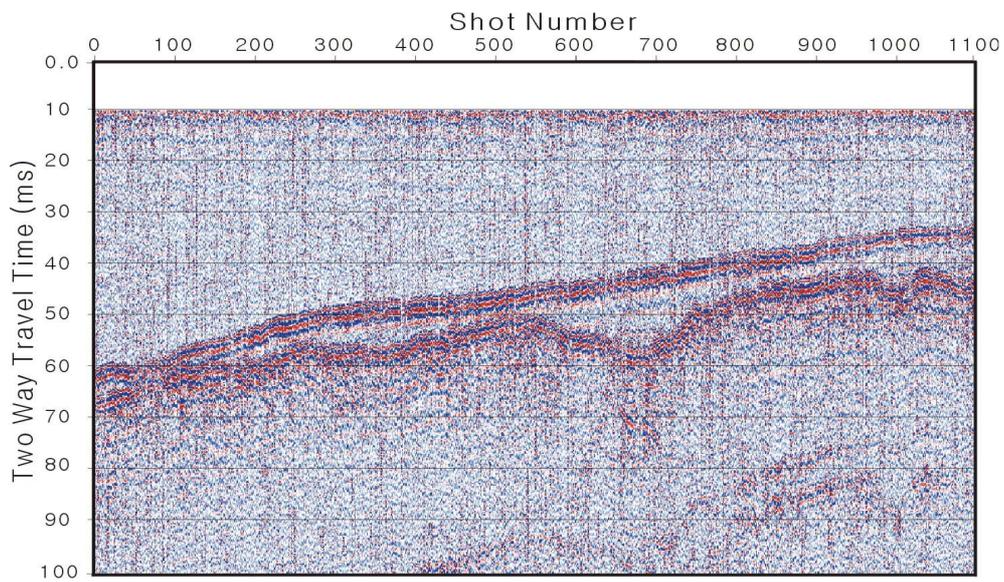
(b) after band-pass filter

5.3 디콘볼루션

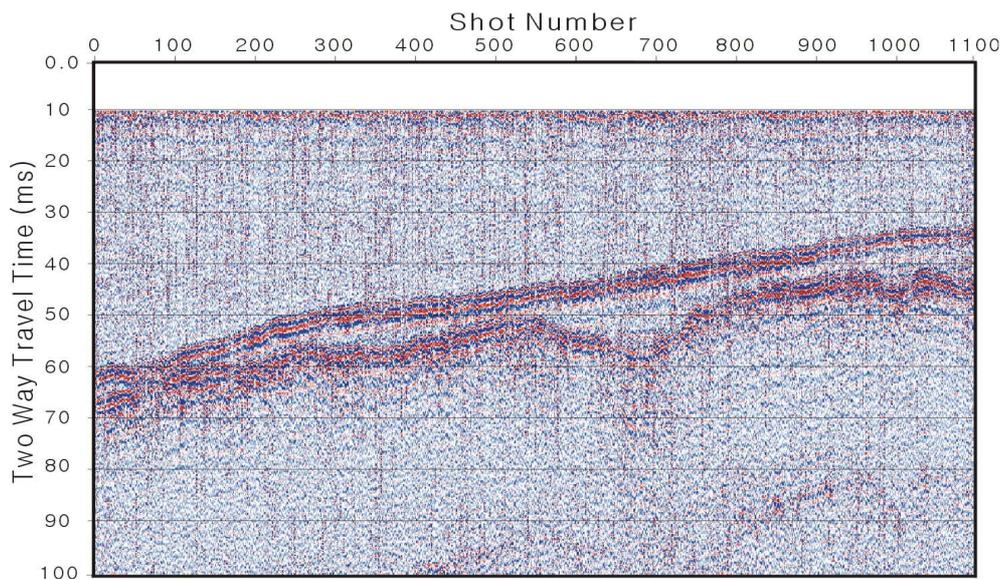
트레이스는 지층의 반사함수와 여러 가지 필터링의 영향을 받은 파형요소(wavelet)의 콘볼루션(convolution)으로 생각할 수 있다. 따라서 파형요소와 잡음(noise)의 특성을 알 수 있다면 디콘볼루션에 의하여 원하는 반사함수를 구할 수 있다. 이러한 디콘볼루션은 탄성과 기록의 파형요소(wavelet)를 압축시켜 수직해상도를 증가시키고, 울림현상을 감소시키고, 다중반사 성분을 제거시키는 효과를 지닌다. 디콘볼루션 방법은 파형요소를 구하여 직접 디콘 또는 역필터를 설계하는 결정론적 방법(deterministic approach)과 탄성과 트레이스의 자기상관(auto-correlation)함수로부터 파형요소를 추정하는 통계적인 방법(statistical approach)이 있다(이호영, 1981; 김기영, 1992; 이호영, 2004).

본 연구에서는 통계적인 방법인 예측 디콘볼루션(prediction deconvolution)을 사용하였으며, 이것의 기본 개념은 반사파 기록의 앞부분의 정보로부터 예측할 수 있는 뒷부분은 반향음이나 다중반사파들이고, 예측할 수 없는 부분은 일차반사파들이라는 것이며 이를 통하여 지층의 반사함수에 대한 정보를 얻을 수 있다. 예측 디콘볼루션은 예측연산자길이(prediction operator length)와 예측거리(prediction distance)에 따라 그 효과가 다르게 나타나는데 본 연구에서는 예측연산자길이 L 을 30으로 하였으며, 예측거리 a 를 2로 하였다. Fig. 22는 듀얼 부머로 취득한 자료로써, Fig. 22 (a)와 (b)는 너울 필터링과 디지털 필터링 후 디콘볼루션 적용전과 적용후의 예를 나타낸 것이다. Fig. 22를 각각 비교하여 보면 Fig. 22 (b)는 수직해상도의 증가와 울림현상의 감소 그리고 80ms 부분에 다중반사 제거를 볼 수 있다.

Fig. 23은 Fig. 17을 너울 필터링, 디지털 필터링, 디콘볼루션 등 자료 처리를 모두 적용한 후의 최종단면도이다. Fig. 17과 Fig. 23을 비교하여 보면 Fig. 23이 해상도가 전체적으로 향상된 것을 볼 수 있다.



(a)

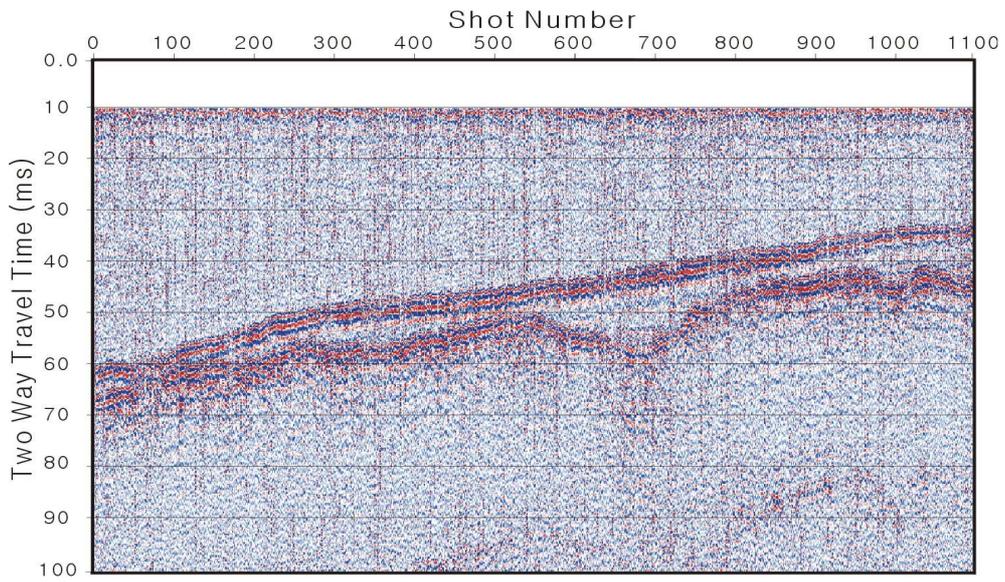


(b)

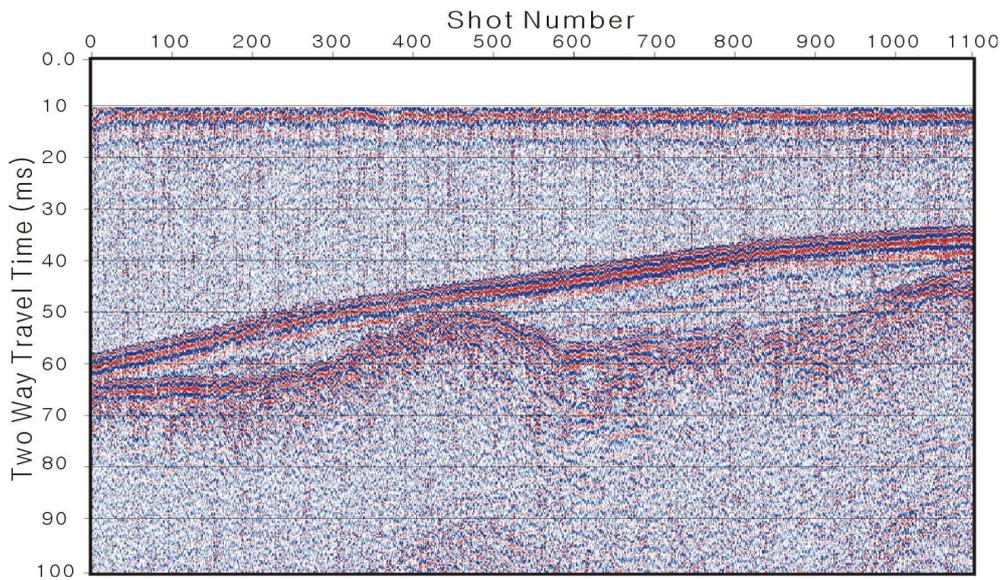
Fig. 22 Deconvolution effect of dual-boomer data

(a) before deconvolution

(b) after deconvolution



(a)



(b)

Fig. 23 Final seismic section(after data processing of Fig. 21)

(a) uni-boomer data

(b) dual-boomer data

5. 결 론

본 논문에서는 현장조건 및 탐사 목적에 맞게 사용할 수 있는 천해저용 탄성과 음원을 제작하였으며, 자료 취득의 효율과 데이터 품질 향상을 위하여 24bits A/D 변환기를 포함한 다중채널 기록장치를 제작하였다. 본 연구에서 제작한 자료 취득 시스템의 성능 시험을 위하여 기존의 상용화 자료 취득 시스템과 동시에 현장탐사를 수행하였고, 취득된 자료에 대하여 자료 처리를 실시함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 현장자료취득변수 중에서 음원-수신 장치의 위치와 거리에 따라서도 데이터 품질이 달라진다는 것을 확인할 수 있었으며 음원이 부머인 경우 음원-수신 장치의 거리를 10m 이하로 하는 것이 적합하다고 사료되어진다.
2. 24bits A/D 변환기인 기록장치의 데이터가 16bits A/D 변환기인 기록장치의 자료보다 분해능이 현저히 높다는 것을 확인할 수 있었다.
3. 트랜스듀스의 개수를 달리하여 취득한 자료에 대하여 주파수 분석을 실시한 결과 트랜스듀스의 개수가 많아질수록 주파수의 범위 폭이 좁아지고 또한 주파수 대역이 저주파수로 이동됨을 알 수 있었다.

4. 트랜스듀스의 개수를 달리하였을 때, 수심 10~20m 에서는 유니 부머와 듀얼 부머 자료의 반사 이벤트가 비교적 명확하였으며, 수심 20~40m 에서는 듀얼 부머 자료의 반사 이벤트가 상대적으로 더 명확함을 확인할 수 있었다.

5. 새롭게 제작한 자료 취득 시스템으로 취득한 탄성파자료를 너울 필터링, 디지털 필터링, 디콘볼루션 등의 자료 처리를 적용함으로써 자료의 해상도가 향상됨을 확인할 수 있었다.

따라서 이 논문에서 개발된 자료 취득 시스템은 앞으로 실제 현장에서 적용할 시 자료취득의 효율이 증대될 것이며 자료의 해상도 향상에도 많은 기여를 할 것으로 생각된다.

향후 천해저 고분해능 다중채널 탐사 및 천해저 3차원 고분해능 탐사를 위해 지속적인 자료 취득 시스템 개발과 자료 처리에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 한다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 이호영, 1991, 마이크로 컴퓨터를 이용한 천해저 고해상 반사법 탄성과 탐사자료의 취득 및 처리에 관한 연구 : 공학박사 학위 논문, 서울대학교
- 이호영, 박근필, 구남형, 박영수, 김영건, 서갑석, 강동효, 황규덕, 김종천, 2002, 에어건과 6채널 스트리머를 이용한 고해상 천부 해저 탄성과탐사 : 한국지구물리탐사학회 제4회 특별 심포지엄 논문집, 24-45
- 이호영, 구남형, 박근필, 유동근, 강동효, 김영건, 서갑석, 황규덕, 김종천, 김지수, 2003, 고해상 다중채널 탄성과탐사 자료취득변수에 따른 천부 해저 지층영상의 해상도 : 한국지구시스템공학회지, 6, 126-133
- 이호영, 2004, 고해상 디지털 해저 탄성과 탐사기술 개발 : 과학기술부
- Lee H.Y., HyunB.K., Kong Y.S., 1996, PC-based acquisition and processing of high-resolution marine seismic data : Geophysics, VOL. 61, 1804-1812
- 이호영, 구남형, 박근필, 김정기, 김원식, 강동효, 2002, 3.5kHz 천부지층탐사 자료의 너울영향제거, The Sea, Vol. 3, No. 3, 95-99
- 김현도, 김진후, 2004, PC 기반의 GPS 연동 고해상 다중채널 해양 탄성과 탐사 시스템 개발 : 공학박사 학위 논문, 동아대학교

- 이호영, 1993, 천해저 고해상 탄성파 자료취득 기술개발연구(Ⅱ) : 과학기술처
- 김기영, 1992, 다중채널 해양반사파 자료의 처리기술 개발(Ⅰ) : 과학기술처
- 지하정보기술, 2003, 부산항 국제여객 및 해경부두 축조 대안설계 해저 탄성파 굴절법 탐사 보고서
- T.Missiaen, W.Versteeg&J.-P. Henriet, 2002, A new 3D seismic acquisition system for very high and ultra high resolution shallow water studies : EAGE, first break volume 20, 227-232
- Frank B., Alan G.G., Heinrich H., 1998, Shallow 3-D seismic reflection surveying: Data acquisition and Preliminary processing strategies : Geophysics, VOL. 63, 1434-1450
- G. Lericolais, J. P. Allenou, S. Berne, P. Morvang, 1990, A new system for acquisition and processing of very high-resolution seismic reflection data : Geophysics, VOL. 55, 1036-1046
- Tamas T., Robert V., Frank H., 1997, Shallow-water single and multichannel seismic profiling in a riverine environment : The leading EDGE, 1691-1695
- Alan B., Steve B., A new high-resolution digital marine acquisition system : Geophysics, 51-54

APPENDIX 1



Fig. 1 Boomer system(left : quad-pulser , right : transceiver)

Table 1. Specification of boomer

Model	Benthos SPR-1400 Quad Pulser
Frequency	Narrow band, 400-Hz pulse
Source Level	205 dB re 1 μ Pa @ 1 m
Tow Cable Length	50 m
Towing Speed	3~5 knots



Fig. 2 Streamer

Table 2. Specification of streamer

Model	BPH-540 Hydrophone Streamer
Active Section Length	10 m
Leader Cable Length	50 m
Hydrophone Array	32 element
Preamplifier Gain	20 dB

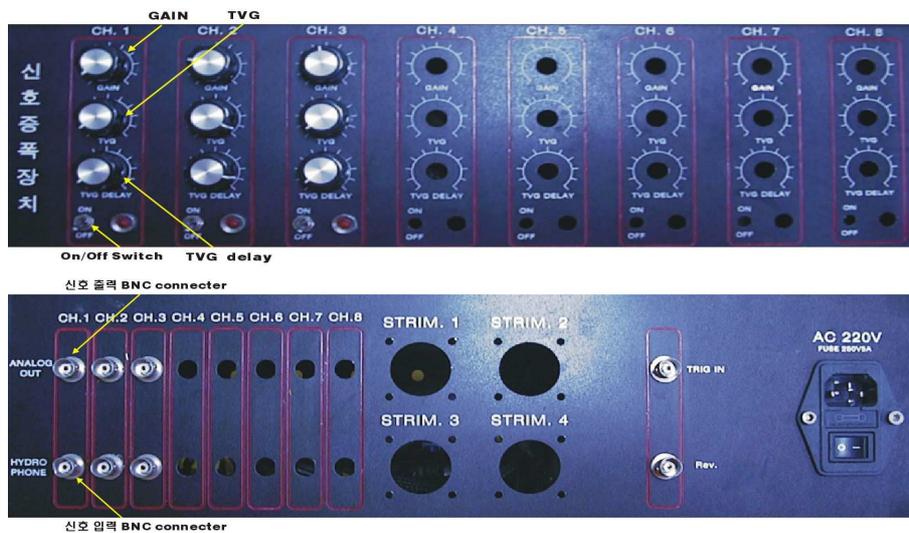


Fig. 3 Amplifier(top : front, bottom: back)

Table 3. Specification of amplifier

Size	435(mm) × 132(mm) × 410(mm)
Weight	5 kg
The number of signal input/output channel	8 Ch.(3 Ch. installation), BNC connecter installation
Input characteristic	<ul style="list-style-type: none"> • GAIN : 0 - 60 dB • TVG : 0 - 7 levels(each level 200ms increase) • TVG delay : 0 - 256 ms • Input range : ±12 VDC, ≤10 KHz • Filter : 100 Hz - 3.5 KHz Bandpass
Output characteristic	<ul style="list-style-type: none"> • Max. output : ±12 V, 10 KHz • Offset : ±0.1 mV • Max. electric current of output : 20 mA(+12 VDC)
Power	AC 110 - 240 V, 0.5A

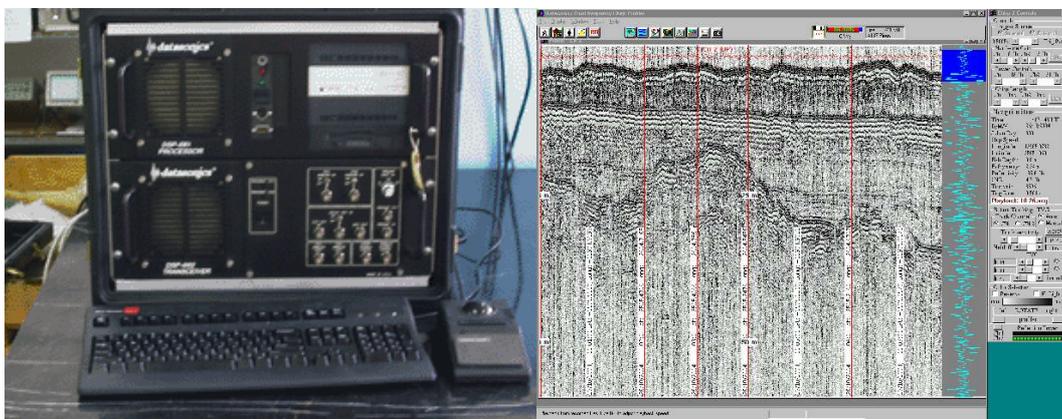


Fig. 4 Recording instrument(left : body, right : software screen capture)

Table 4. Specification of recording instrument

Size	558×558×558(mm)
Weight	41kg
Operating system	Windows 98
Host CPU	Pentium
Memory	32MB RAM
A/D converter	16 bits
Screen resolution	1280×1024, 256 colors

Table 5. Specification of manufactured recording instrument

Size	483(mm) × 470(mm) × 177(mm)
Weight	15 kg
Operating system	Win 2000 pro
Main board	GIGA Byte GA-18IPE(865PE) (USB 2.0 support)
Memory	Samsung DDR 512MB
VGA	SUMATX 5200V (128MB)
HDD	SeaGATE 40G 7200RPM (IDE Type)
FAN	12V (BP601012M) 0.16A
A/D converter	NI4472 Resolution 24 bits
Power	AC110/220
Input/Output	Monitor Samsung 15" LCD (TT) C×171NM wide monitor

Table 6. Specification of A/D converter NI 4472

Analog inputs	8
Resolution	24 bits
Sampling rate	102.4 kS/s
Input range	± 10 V
AC cutoff frequency	3.4 Hz
Digital trigger compatibility	5 V TTL/CMOS

감사의 글

바쁘다는 핑계로 모든 것을 소홀히 했던 지난 한해를 돌아보며 항상 따뜻한 마음으로 돌봐주신 많은 분들께 감사의 뜻을 표합니다.

먼저 학창 생활동안 부족한 저를 언제나 따뜻한 관심과 격려로 지도해주신 신성렬 교수님께 진심으로 감사드리며, 더욱더 열심히 했어야 했다는 아쉬움이 남아 죄송한 마음뿐입니다. 또한 바쁘신 일정에도 틈틈이 격려를 해주시며 논문을 지도해 주시고 관심을 가져주신 장원일 교수님과 임종세 교수님께도 감사의 말씀을 올립니다.

논문의 시작에서 끝까지 깊은 관심을 가지고 많은 도움을 주셨을 뿐 아니라 위로와 격려의 말씀도 아끼지 않으셨던 유일한 실험실 선배 이정환 형과 시스템 구축과 테스트 과정에서 도움을 주셨던 오영석 팀장님을 비롯한 소나테크 직원들께 감사를 드립니다.

그리고 무더운 여름과 추운 겨울에도 싫은 소리 한번 없이 현장탐사를 도와준 은민이와 실험실 후배 찬수, 탁현, 지훈, 은정, 은혜 그리고 에너지 자원 공학 97학번 동기들과 형준, 재만이를 비롯한 현장탐사를 도와준 후배들에게도 고마움을 전합니다. 또한, 실습선 관련 공문 제출 등 여러 가지에서 관심을 가져준 안수경 누나와 상완이에게 고마움을 전합니다.

제 인생에 있어 끊임없는 충고와 격려, 그리고 든든한 후원자가 되어주신 윤상돈 사장님께 진심으로 감사의 말씀을 올립니다. 언제나 깊은 사랑으로 저에게 힘이 되어주신 이모와 이모부에게 감사드리며, 깊은 사랑과 관심으로 항상 지켜봐주시는 할아버지와 할머니에게 감사드립니다.

끝으로 어떠한 어려운 여건 속에서도 언제나 자식에 대한 사랑과 헌신을 아끼지 않으신 어머님께 감사한 마음으로 이 논문을 드리겠습니다.