

PC를 이용한 SBP 자료의 계수화와 실시간
자료처리시스템 개발연구

A Study on the Development of PC based Automatic Digitizing and
Data Processing System for the Conventional Analog Type
Subbottom Profiler(SBP)

1996. 5.

韓國海洋研究所

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “PC를 이용한 SBP 자료의 계수화와 실시간 자료 처리 시스템 개발연구” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

1996년 5월

연구책임자 : 문 재 운
강 정 극

참여연구원: 김 현 섭
최 원 석

요 약 문

I. 제 목

PC를 이용한 SBP자료의 계수화와 실시간 자료처리 시스템 개발연구

(A study on the development of PC based automatic digitizing and data processing system for the conventional analog type subbottom profiler (SBP))

II. 연구개발의 필요성 및 목적

온누리호에 탑재된 천부지층 탐사기인 SBP(Sub Bottom Profiler)와 같이 단일 채널(single channel) 고분해능 탄성과 탐사 기기는 대부분 아날로그 방식으로 출력신호를 기록하고 있다. 정밀 계측기술의 비약적인 발전에 따라 경제적인 계수화 장비의 이용이 가능하게 되었다. 계수화된 자료(디지털 자료)는 컴퓨터를 이용하여 전산자료처리 과정을 거침으로써 탐사시 발생하는 각종 잡음(noise)을 제거하고 기록자료의 분해능을 향상시킬 수 있으며 이를 통해 정확한 지층해석을 도모할 수 있다.

탐사자료가 계수화 된다는 것은 출력된 자료가 기록지에 인쇄된 고정된 형태가 아닌, 컴퓨터를 이용하여 저장되고 전산처리 될 수 있음은 물론이고, 다른 탐사방법에 의한 자료나 기타 상호연관성이 있는 자료와 비교하여 종합적이고 다각적으로 해석할 수 있음을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 기존의 아날로그 SBP 시스템의 출력부와 병렬 연결할 수 있는 계수화 장비를 개발하여 아날로그 자료출력에는 영향을 미치지 않는

범위 내에서 디지털 자료를 취득할 수 있는 일괄적인 탐사 시스템을 개발하고자 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

일괄적인 탐사시스템의 개발을 위해서는 먼저 기존 탐사장비의 하드웨어적인 구성과 메커니즘에 대한 연구를 통해 이에 부합하는 계수화 장비를 선택·개발해야 하며 시스템 구성에 맞는 각종 측정변수를 설정해야 한다. 다음으로 구성된 각종 장비와 기기 간의 적절한 연결과 시스템 전반을 제어할 수 있는 소프트웨어를 개발하고 취득자료의 각종 신호처리기법에 관한 연구가 실시되어야 한다.

이를 위해서 SBP 시스템의 자료취득과정과 아날로그 출력과정에 대한 특성의 관련 문헌과 현장에서의 조사를 실시하며, 여러 보조장비들을 이용하여 계수화된 시스템에 의해 취득된 자료의 안정성 검토를 실시한다. 한편, 취득자료의 신호처리는 일괄적이고 종합적인 해석을 가능하게 하고 추후 다른 탐사 기기의 결과물과도 호환이 가능한 방법을 채택하였다.

IV. 연구개발 결과 및 기대효과

이 시스템에 의해 취득된 자료는 여러 단계의 자료처리 과정을 통해 원래의 신호보다 분해능이 향상되었으며 잡음에 대한 제어가 확실하다. 또 원래의 아날로그 자료로 가능한 탐사지역 내에서의 해저지형 윤곽파악과는 달리 해저면의 수심, 퇴적층의 두께에 대한 정량적인 자료를 제공할 수 있음은 물론이고 다른 탐사장비에 의해 취득된 결과와 비교·검토하

여 해석할 수 있는 지침을 마련하였다.

실시간 자료처리(real time data processing)를 위해 필요한 신호처리 에 관한 여러 가지 방법의 연구를 이용하여 자료측정과 거의 동시에 선상에 서 분해능이 향상된 처리결과를 볼 수 있으며, 이 자료는 탐사후 PC나 workstation을 이용하여 지역적 특성, 탐사 기기별 자료, 향후 탐사 계획설 정과 같이 데이터 베이스화된 GIS(Geographic Information System)를 이용한 종합적인 자료의 해석과 운용에 이용될 수 있을 것이다.

SUMMARY

I. Title of the study

A study on the development of PC based automatic digitizing and data processing system for the conventional analog type subbottom profiler (SBP)

II. Abstract

A single-channel subbottom profiler installed in R/V Onnuri records subbottom signals with analog type. However, the analog type profiler has many restrictions in data processing and interpretation. Most of recently manufactured seismic equipments adapt digital data acquisition system to enhance data interpretation.

An experimental device and related softwares for PC based automatic digitizing and data processing system were studied and developed for the subbottom profiler in R/V Onnuri. The device consists of an analog to digital converter card, and a pre-amplifier as main components. Acquired digital signal data shows improved resolution after several steps of processing procedures than the analog records.

The digitized signal data provide quantitative information on the seafloor such as high resolution bathymetry and thickness of subbottom layers. The developed device enables subbottom data to be processed in real time.

CONTENTS

요약문

SUMMARY

그림목차 (LIST OF FIGURES)

I. 서 론

II. SBP 시스템의 특징 및 계수화 작업 13

II-1. SBP 시스템의 구성 13

II-2. SBP 시스템의 출력부와 계수화 장비 15

III. SBP 계수화 자료의 신호처리 23

III-1. 탐사지역 개관 23

III-2. 아날로그 자료와 디지털 자료의 비교 24

III-3. 계수화 자료의 신호처리 28

III-3-1. 대역 통과 필터링 (bandpass filtering) 28

III-3-2. Envelop 함수 33

III-3-3. Envelop 함수의 평활화 (smoothing with a triangle) . . . 37

III-4. 신호처리 자료의 해석 41

IV. 결과 및 기대효과 46

참고문헌 47

LIST OF FIGURES

Fig. 1.	The schematic diagram of Subbottom Profiler on R/V Onnuri (a) without CESP, (b) with CESP (longer pulse generator)	14
Fig. 2.	Photography showing the connection between SBP's output node, oscilloscope, and analog printer	17
Fig. 3.	Electrical signal plot of reflected energy from sea floor using oscilloscope	18
Fig. 4.	Arbitrary waveform function generator used to test the trial version of digital acquisition system in the laboratory	19
Fig. 5.	IBM PC compatible A/D & D/A converter card	20
Fig. 6.	Pre-amplifier used in this study	22
Fig. 7.	Array of transducers installed on the hull of R/V Onnuri	24
Fig. 8.	Location of the application site and survey line	25
Fig. 9.	Scanned image of the SBP's analog output profile	27
Fig. 10.	Partial digital output section along the survey line in Fig. 8	29
Fig. 11.	(a) Arbitrary chosen one sample trace in Fig. 10, (b) primary reflected wave in sample trace (a), and (c) amplitude spectrum of primary reflected wave in (b).	30
Fig. 12.	Angular frequency plot of the bandpass filter	32
Fig. 13.	Angular frequency plot of the Hanning window	34
Fig. 14.	Bandpass filtered result of sample trace in Fig. 11(a)	35
Fig. 15.	Bandpass filtered profile of Fig. 10	36

Fig. 16. Envelope section of Fig. 15 using Hilbert transform	· · · 38
Fig. 17. Principle of smoothing technique with a rectangular or boxcar window (moving average)	· · · · · 39
Fig. 18. Principle of smoothing technique with a triangle window	· · · 42
Fig. 19. Triangle window smoothing result of Fig. 16	· · · · · 43
Fig. 20. Trace picking result with conventional and interpolated method on Fig. 19	· · · · · 44

I. 서 론

큰 규모의 지질구조 조사를 위해 실시되는 육상에서의 탄성파탐사와는 달리 해양환경에서의 고해상 탄성파탐사의 자료취득 시스템은 대부분 아날로그 출력방식을 채택하고 있어 자료의 보관과 이용면에서 많은 문제점이 있다. 국내의 경우 탐사전용선인 은누리호에 탑재된 주 주파수가 3.5 kHz인 고주파 송신원을 사용하는 천부지층 탐사기 SBP의 경우도, 연근해의 퇴적층서 및 심해저 광물자원 부존 지역의 지층탐사시 그 결과가 용지에 아날로그 방식으로 출력되기 때문에 추후의 자료처리에 의한 분해능의 향상, 다른 탐사 기기에 의한 자료와의 비교, 자료 보관 측면에서 극히 제한적으로 운용되고 있는 실정이다.

최근에는 1,000 Hz 내외의 고주파수를 사용하는 디지털 탄성파탐사 자료취득 시스템의 연구 및 개발이 국내외적으로 활발히 수행되고 있다 (Bays 등 1986; 김한준, 1988; 이호영, 1992). 오늘날 과학기술의 발전에 따라 아날로그 출력자료의 단점을 극복할 수 있는 신 장비의 개발이 가속되고 있음에도 불구하고 이러한 연구가 계속 수행되고 있는 이유는 기존 장비의 사용에 영향을 미치지 않으면서도 경제적으로 훨씬 유리한 부가적인 계수화 장비의 개발만으로도 디지털 자료를 취득할 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 경제적으로 기존 장비를 이용하여 디지털 자료를 취득할 수 있는 기술의 개발과 이 자료를 여러 신호처리 기법을 이용하여 정량적으로 개선할 수 있는 방향을 모색하고자 한다.

기존 시스템의 계수화는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시키는 A/D 변환기와 기타 보조 기기의 하드웨어적인 구성과 이용방법, 그리고 전반적인 시스템을 관리할 수 있는 소프트웨어의 개발로 이루어지며, 본 연구에서는 수심 2,000 m 정도의 비교적 심해인 동해지역에서 현장 적용하였으며 이를 바탕으로 SBP의 운용시 실시간에 디지털 자료를 취득할 수 있는 토대를 마련하였다.

취득된 디지털 자료는 전산기기를 이용하여 신호이외의 잡음을 제거하는 대역필터링 기법, 반사신호의 크기와 시간파악을 위한 envelope 함수 이용, 또한 이를 효율적이고 자동적으로 수행할 수 있게 하는 평활화 기법의 적용 등의 전형적인 자료처리 과정을 통해 자료해석시 기존의 아날로그 방식에 의한 자료에 비해 정량적인 접근에서 큰 개선을 이루었다.

본 연구에 의해 완성된 시스템은 SBP에 의해 취득된 자료의 고급화와 보유 기기의 운용능력 향상을 가져왔으며, 취득자료의 다각적인 해석과 폭넓은 이용을 기대할 수 있을 것이다.

II. SBP 시스템의 특성 및 계수화 작업

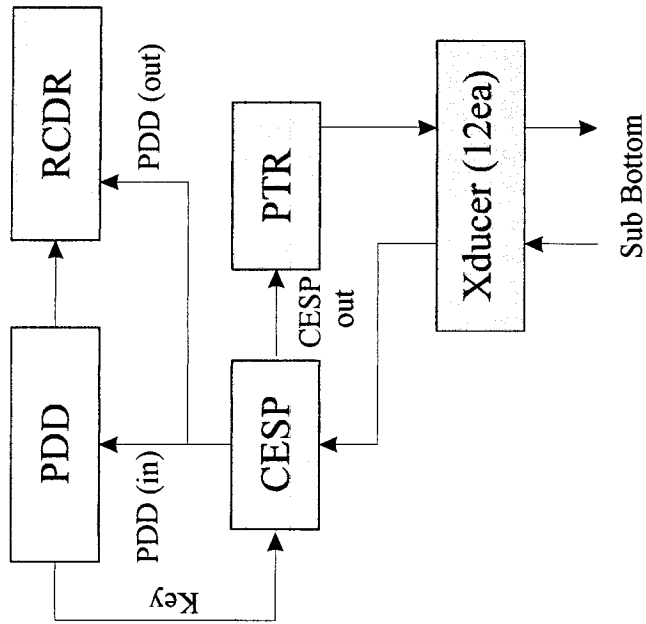
아날로그 취득 시스템의 계수화작업은 인공적인 오차가 발생하기 마련인 디지털라이저(digitizer)를 이용하여 단순히 아날로그 출력물을 수치화하는 것이 아니라, 탐사장비의 자료취득 과정후 출력과정을 거치기 전에 계수화 장비를 이용하여 원래 자료를 손상 없이 자기 테이프와 같은 매체에 기록하는 것이다. 이를 위해서는 기존 탐사장비의 특성과악 연구와 기존 장비를 이용한 탐사결과에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 시스템 구성을 위한 측정변수 설정연구를 하며, 일관된 계수화 시스템을 구성해야 한다.

II-1. SBP 시스템의 구성

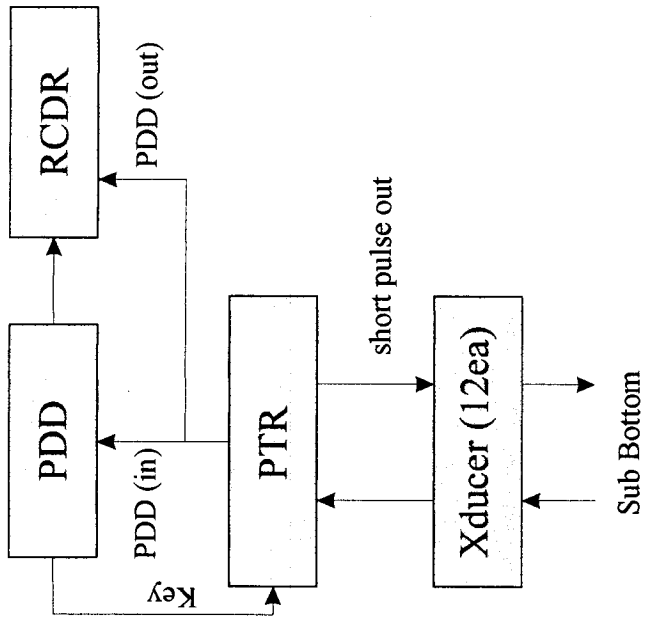
탐사전용선인 온누리호에 장착된 SBP 시스템의 기본적인 구성은 다음과 같으며 시스템 구성도는 Fig. 1에 나타나 있다.

SBP 시스템에서 PDD(Precision Depth Digitizer)는 수십의 대략적인 범위 설정 및 해저지형의 기록에 따라 변하는 측정 시간범위(gate)의 설정 초기(first), 최대(peak) 등의 감지하게 되는 파형 특정 부분을 선택하게 된다. 이때 Fig. 1의 (a), (b)에서 PDD out은 장비 구성상의 문제이고 이를 선택하면 기록지에 측정 시간범위가 그려지지 않을 뿐이다.

CESP(Correlation Echo & Sounder Processor)는 PDD에 추가하여 자료를



(a)



(b)

Fig. 1. The schematic diagram of Subbottom Profiler on R/V Onnuri (a)

without CESP, (b) with CESP (longer pulse generator) . . .

취득하는 장비이다. 송신원에서 방사되는 신호의 출력을 선택할 때, Fig. 1 (b)와 같이 CESP을 이용하면 펄스의 길이(pulse length)가 길어지므로 심해저 탐사시 적합하고 천해에서는 사용하지 않는다. CESP는 신호의 출력뿐만 아니라 수신기에 감지된 신호(raw signal)의 배경 잡음(background noise)의 제거 기능도 한다.

PTR-105B (Precision Transmitter & Receiver)는 Fig. 1(a)와 같이 CESP을 사용하지 않을 때, 펄스의 길이를 선택하며 출력의 에너지 정도를 조절하는 기능을 한다.

신호의 직접적인 방사와 수신은 TR-109(High Power Transducer)를 이용하는데 12개의 xducer(transduce)가 온누리호의 선체 하부 중앙에 장착되어 있다.

II-2. SBP 시스템의 출력부와 계수화 장비

Fig. 1의 SBP 시스템에 의해 취득된 자료는 일반적으로 열전사방식의 아날로그 프린터인 LCR-1807M에 의해 특수용지에 출력되며, 출력된 결과는 추가적인 처리가 거의 불가능하다. 따라서 취득자료의 아날로그 출력 전 계수화에 필요한 장비를 SBP 본체에 연결함으로써 디지털 자료를 얻을 수 있다. 이에 필요한 기본적인 계수화 장비로는 A/D 변환기, 전치증폭기(Pre-Amplifier), PC(자료저장 및 운용프로그램 구동)로 구성되어 있으며, 아날로그 자료와 디지털 자료의 비교분석을 위해 파형발생기(Function Generator)와 오실로스코프(Oscilloscope)가 필요하다.

먼저 아날로그 신호의 계수화가 가능한지 알아보기 위해 저해상도의 Fig. 2와 같이 아날로그 신호의 출력부(그림에서 우측의 기기)의 인출선을 A/D 변환기가 내장된 오실로스코프(그림에서 좌측 하단)와 출력 프린터(그림에서 중앙 하단)에 같이 각각 연결한다. 이 때 오실로스코프에 나타나는 신호는 Fig. 3과 같은 하나의 특정 음원에 의한 반사신호로 일반적인 탐사시 필요한 전체 프로파일 자료가 요구될 시는 오실로스코프의 저장 능력상 문제가 발생하므로 여기서는 단지 신호의 손상 여부를 판단하는 기능을 한다.

A/D 변환기의 성능 및 계수화 능력시험을 위해, 아날로그 파형발생기를 이용하여 Fig. 4와 같이 임의의 간단한 파형을 발생시켜 이를 음원으로 가정하여 Fig. 5의 A/D 변환기를 통과시켜 디지털 신호를 오실로스코프로 받아보는데, A/D 변환기의 연속신호 처리능력 및 본 연구에서 채택한 12 bit의 분해능 성능파악에 이용된다.

아날로그 신호의 출력부와 A/D 변환기 간의 직접적인 연결대신 중간에 PC를 이용하며 C언어로 제작된 구동 프로그램으로 측정시간 간격, 측정시간대의 범위, 자료저장 간격 등과 같은 측정변수를 설정한다. 측정변수의 설정은 탐사시 아날로그 자료를 취득하면서 디지털자료를 손상 없이 얻을 수 있게 하는 중요한 요소이며 A/D 변환기, PC의 자료취득 및 처리, 저장 속도와 같은 하드웨어(hardware)적인 요소와도 밀접한 관계가 있는데, 이와 같은 제문제를 고려하여 본 연구에서는 486급의 PC가 이용되었으며 386급의 PC로도 충분하다고 사료된다.

계수화된 방대한 양의 자료 저장은 PC에 장착된 1 Giga bytes의 하드디

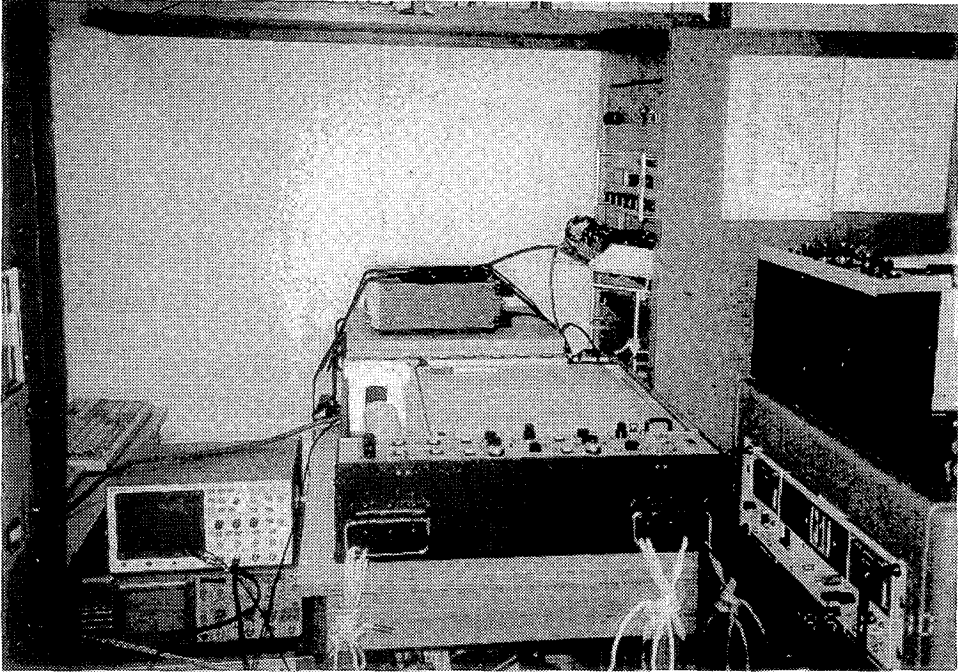


Fig. 2. Photography showing the connection between SBP's output node, oscilloscope, and analog printer

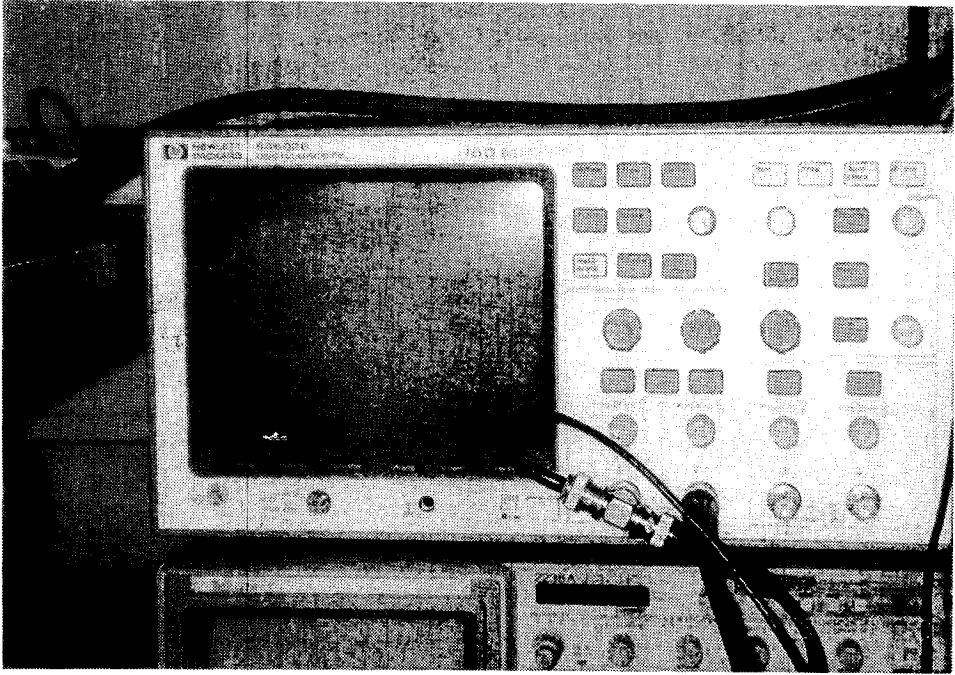


Fig. 3. Electrical signal plot of reflected energy from sea floor using oscilloscope

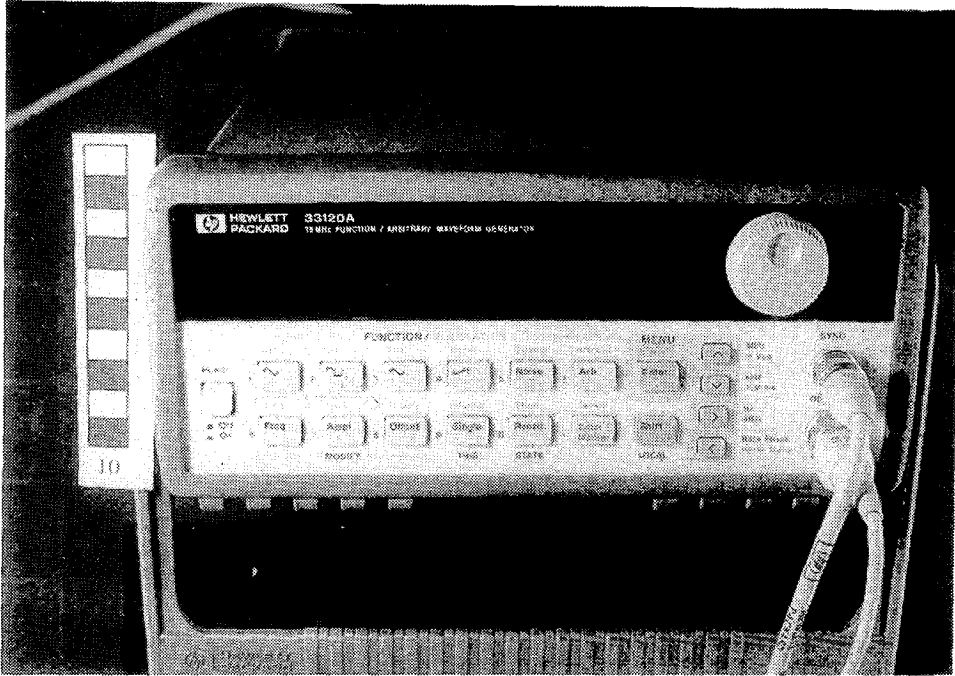


Fig. 4. Arbitrary waveform function generator used to test the trial version of digital acquisition system in the laboratory

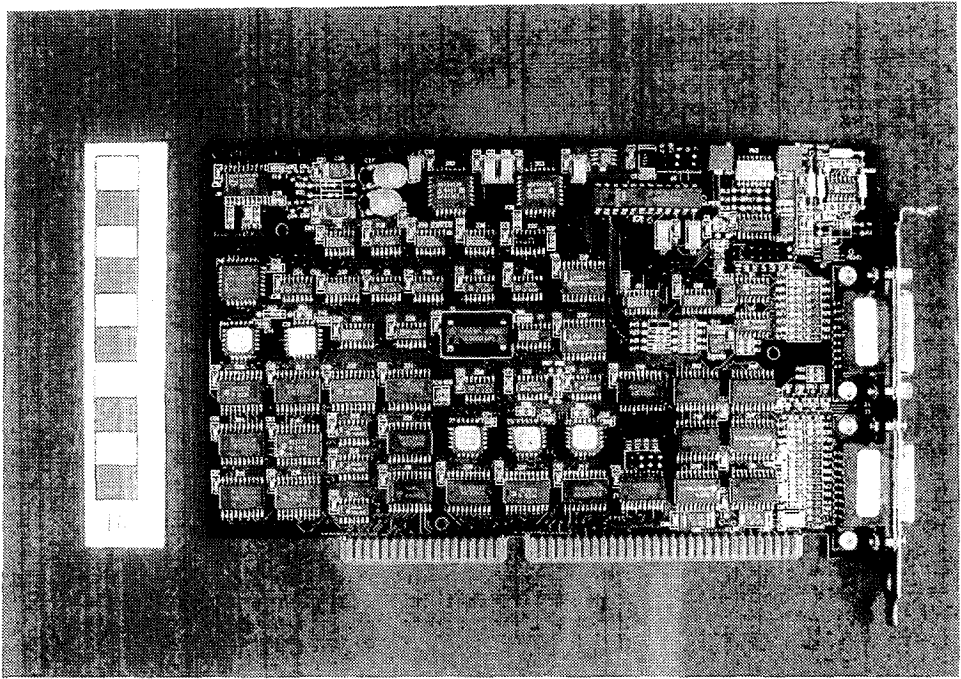


Fig. 5. IBM PC compatible A/D & D/A converter card

스크(harddisk)를 이용하였다. 자료의 크기는 음원의 발파시간 간격, 측정시간 간격, 측정시간대 등에 의해 좌우되는데 일반적인 탐사에서 연속적인 SBP 자료의 취득시 하나의 하드디스크만으로는 모든 자료를 취득할 수 없으므로 하드디스크보다 경제적인 자기테이프와 같은 기록매체를 여러개 이용하는 것이 바람직하다. 이에 대한 문제는 본 시험연구의 성격과 큰 관련이 없으며 기록매체의 보유만으로도 쉽게 해결할 수 있다.

통상 아날로그 신호를 계수화할 때 출력되는 전기신호가 A/D 변환기가 감지할 수 있는 최소범위보다 작으므로 A/D 변환기를 거치기 전에 전치증폭기를 이용하여 신호를 강화한다. 그러나 온누리호에 탑재된 SBP 시스템의 출력신호를 본 시험연구에서 이용된 A/D 변환기가 충분히 감지할 수 있었으므로 전치증폭기를 사용할 필요가 없었다. 그러나 본 연구 대상지는 수심 2000 m 정도의 지역이었으나 수심 4000~5000 m의 심해저 탐사와 같은 경우 미약한 특정 반사신호의 출력 강화나 전치증폭기의 자체적인 필터링 효과를 얻고자 할 때에는 Fig. 6과 같은 전치증폭기의 사용이 요구된다.

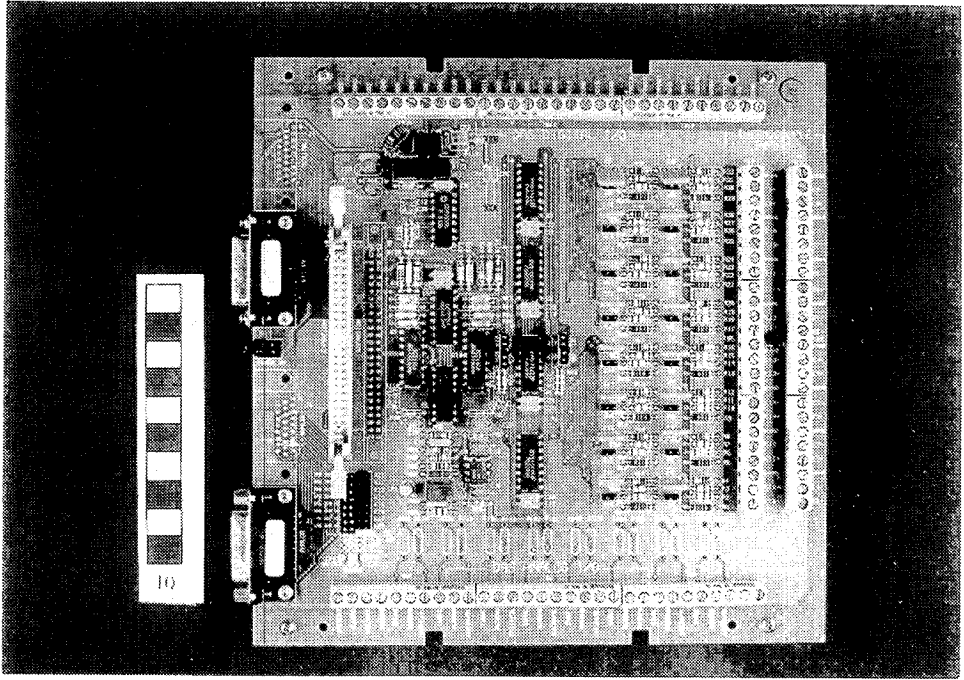


Fig. 6. Pre-amplifier used in this study

III. SBP 계수화자료의 신호처리

SBP와 같이 단일 송·수신기로 프로파일링하여 해저지형을 판독하는 탐사장비는 불필요한 측면 반사신호의 효과적인 제거와 수직 반사신호의 분해능을 향상시키기 위해 탐사시 좁은 폭을 갖는 음원을 한 방향으로 집중 방사해야 한다. 온누리호에 탑재된 SBP의 경우 Fig. 7과 같이 각기 다른 주파수 특성을 가진 12개의 음원을 배열하여 조합된 음원의 대부분이 수직하부로 진행할 수 있도록 하였다. 그러나 이 배열법의 영향으로 주파수영역에서 특정주파수가 약화되는 현상이 발생되며, 주 주파수가 3.5 kHz이며 대역 폭이 2 kHz인 고주파수 성분의 음원 특성으로 인해, 시간영역에서의 반사신호가 저주파수 대역을 포함하는 일반적인 탄성파탐사의 경우처럼 광대역 주파수 특성이 아니어서 이를 기본으로 하는 탄성파 자료 처리와 해석 과정에서 많은 문제를 야기하므로, 특별한 자료처리 과정이 추가되어야 한다.

III-1. 탐사지역 개관

본 시험 연구지는 1995년 10월에 한국해양연구소에서 실시한 동해 대수심탐사시 울릉도와 독도사이 수심 약 2,000m의 지역이며 Fig. 8에 시험탐사지의 위치가 나타나있다.

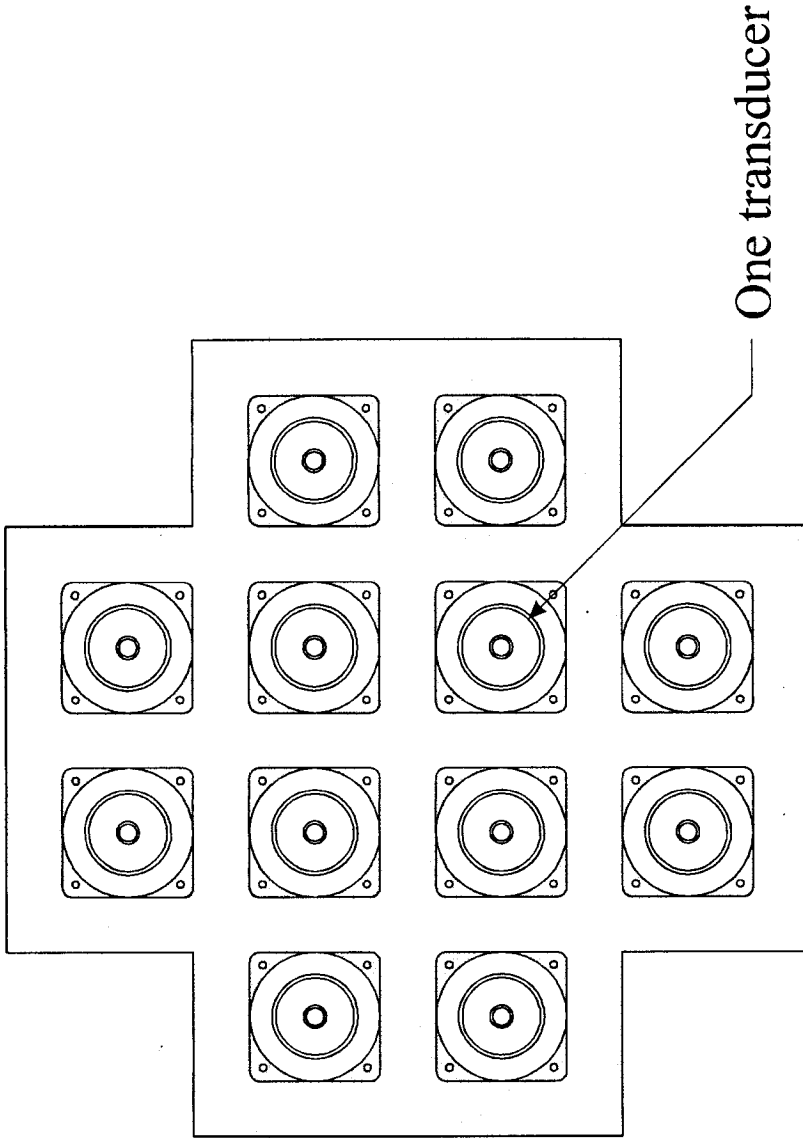


Fig. 7. Array of transducers installed on the hull of R/V Ommuri

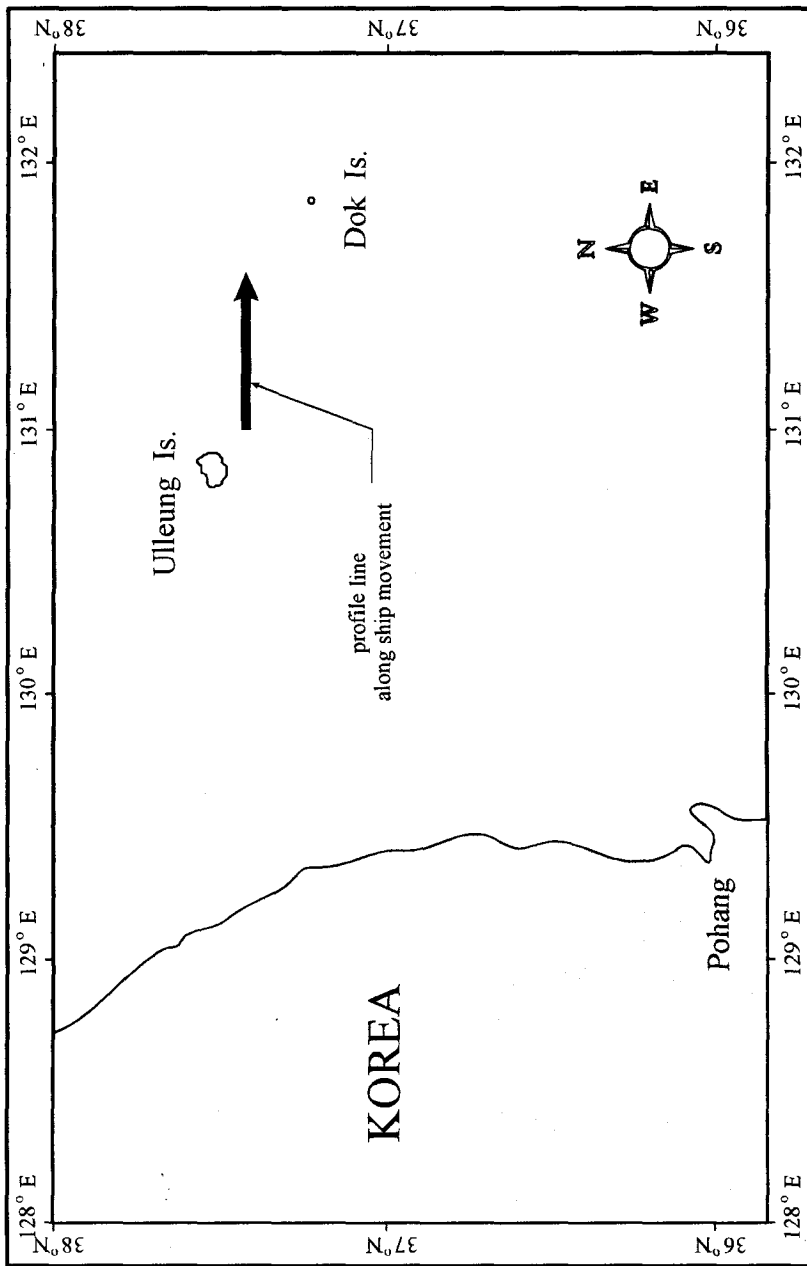


Fig. 8. Location of the application site and survey line

III-2. 아날로그 자료와 디지털 자료의 비교

통상적인 SBP 시스템에 의한 아날로그 출력자료가 Fig. 9에 나타나 있으며, 이 프로파일 자료는 온누리호를 이용하여 동해 대수심탐사 지역내 북위 $37^{\circ} 24'$ 위치에서 동경 $131^{\circ} 00' \sim 131^{\circ} 50'$ 의 구간에서 취득하였으며, 한국 시간으로 1995년 10월 9일 오후 3시 40분에서 7시 사이에 동쪽방향으로 7~8 노트(knot)의 속도로 진행하였다. 여기서 가로축은 매 4초마다 음파를 발생시켰을 때 3,000 개의 트레이스(trace)이며, 세로축은 0.1 msec 의 측정 시간간격(sampling time)으로 2.5~3.3 sec 내의 범위이다. 현장에서의 신호 기록시 해석의 편의를 위하여 그림 내에 수평선과 수직선을 이용하였는데, 여기서 수평선의 간격은 0.2 sec 이며 수직선의 간격은 조사선의 진행방향으로 약 10 분 정도의 시간에 해당한다.

시험연구의 특성상 방대한 양의 자료를 전부 취급하기보다는 자료처리 효과를 효율적으로 연구하기 위해 Fig. 10과 같이 전체 프로파일중 가로축으로 2900~3000번의 트레이스 101개와 세로축으로 3.14~3.22 sec의 801개에 해당하는 특정 부분만 다루었으며, 앞장에서 설명한 계수화 장비를 이용하여 취득된 이 구간의 디지털 자료의 일부이다.

두 그림에서 일견 아날로그 자료가 디지털 자료보다 반사신호의 연속성 측면에서 더 나은 것처럼 보이지만, 자료 도시방법상의 문제이며 자료처리과정을 효과적으로 살펴보기 위한 도시법인 Fig. 10의 위글 트레이스법(Wiggle Trace)을 Fig. 9와 같이 가변밀도법(Variable Area)으로 나타내면 (민경덕 등, 1987) 두 자료는 수치적으로 일치하게 된다.

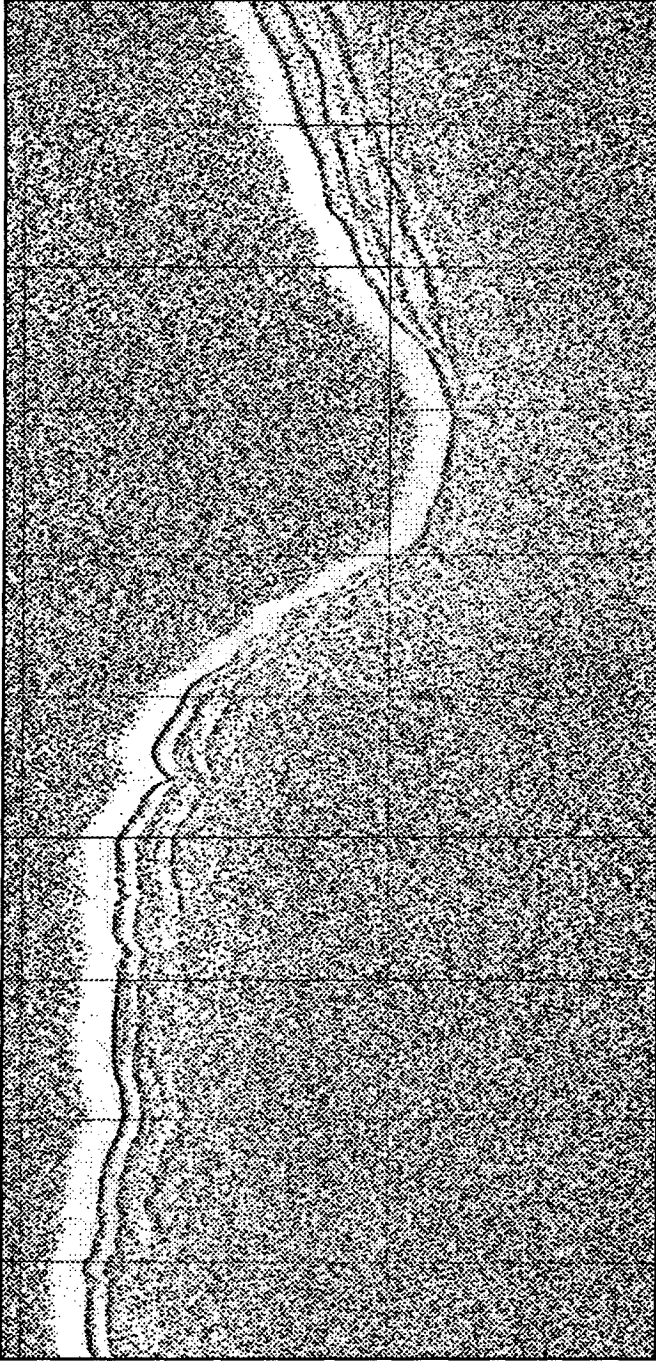


Fig. 9. Scanned image of the SBP's analog output profile

III-3. 계수화 자료의 신호처리

Fig. 10의 디지털 자료중 왼쪽에서 38번째의 한 트레이스와 이 중에서 해저면의 일차반사파로 추정되는 신호만을 각각 Fig. 11(a), 11(b)에 도시하였다. Fig. 11(c)는 Fig. 11(b)의 주파수 영역 표시로 진폭스펙트럼인데, 온누리호에 탑재된 SBP 시스템의 음원은 이론적으로 중심주파수가 3.5 kHz이며 대역 폭이 2 kHz이지만 음원의 특정 배열(Fig. 7참조)로 인해 실제로는 중심 주파수가 약간 이동함을 알 수 있다. 음원에서 2 kHz 대역 폭의 신호를 고려할 때 감지된 반사신호의 주파수영역 대역 폭이 2.5~3.5 kHz인 대역통과 필터링을 실시하였다.

III-3-1. 대역 통과 필터링(bandpass filtering)

천부지층탐사기를 이용하여 해저 지층의 경계면을 탐지할 때, 탐사의 목적(주로 음파의 투과심도와 분해능에 따라 다름)에 따라 송신원에서 발생하는 음파는 특정주파수 대역을 갖게 된다. SBP의 경우 탐지 대상체의 수심이 수십에서 수천 미터이며 투과심도는 수 백 m 정도인데 이러한 조건을 만족시키기 위해 주 주파수가 3.5 kHz 이고 이를 중심으로 2 kHz의 주파수 대역을 갖는다. 그러나 송신원과 달리 수신기는 광대역 주파수대역의 신호를 감지하기 때문에 해저지형으로부터의 반사 신호 외에도 여러 가지 잡음을 감지할 수 있다. 예를 들어 현장탐사시 조사선에 의한 각종 기계적인 소음, 탐사 기기 자체의 전기·기계적 성질, 해황에 의한 바다

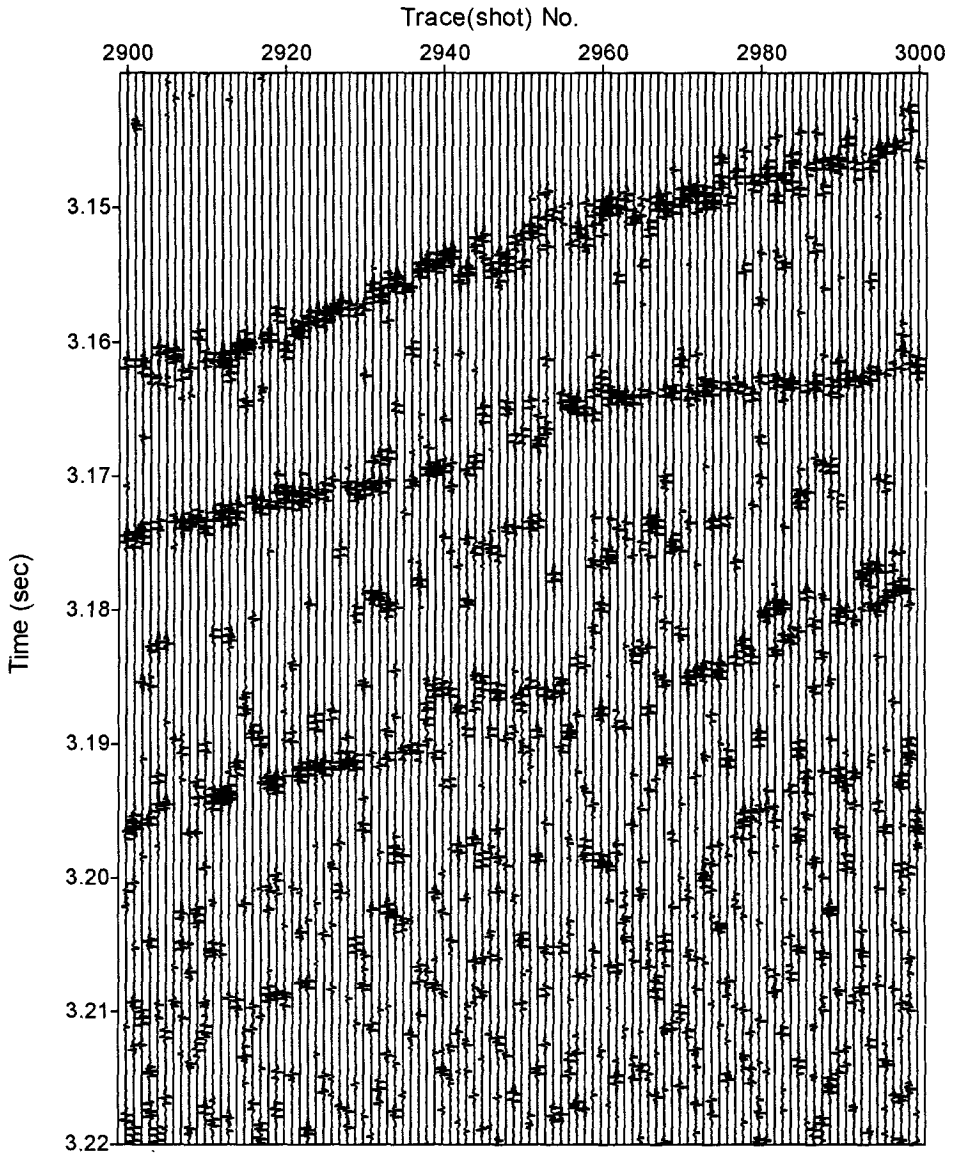


Fig. 10. Partial digital output section along the survey line in Fig. 8

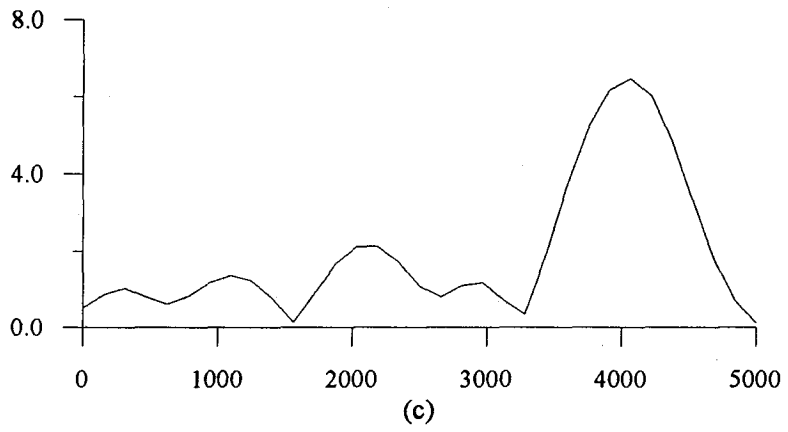
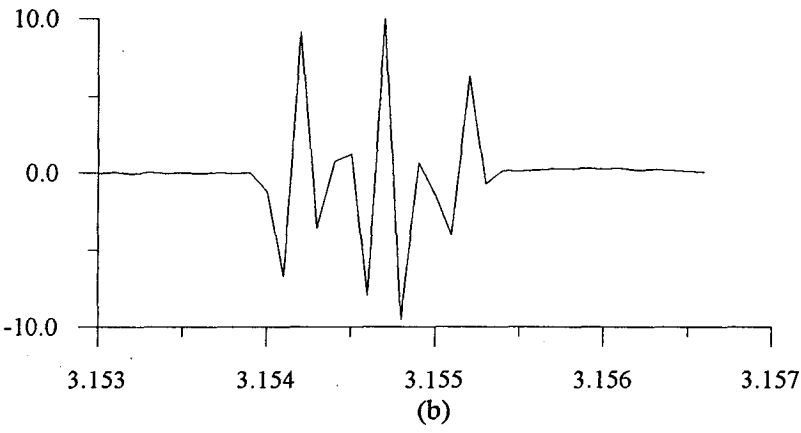
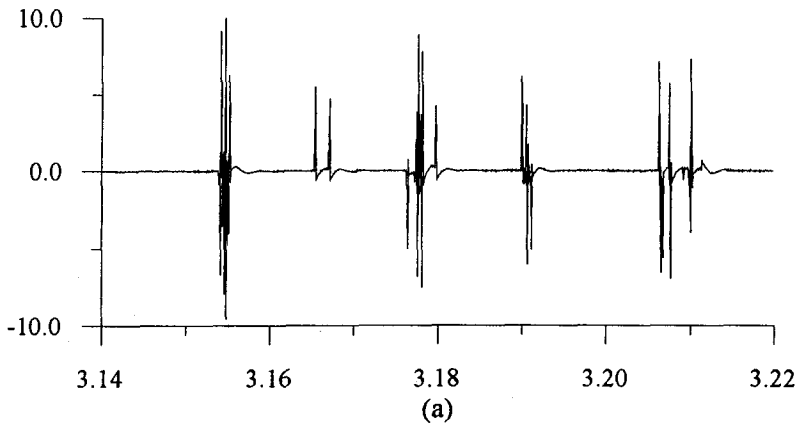


Fig. 11. (a) Arbitrary chosen one sample trace in Fig. 10, (b) primary reflected wave in sample trace (a), and (c) amplitude spectrum of primary reflected wave in (b).

로부터의 예기치 못한 잡음 등 해저 반사면에 의한 주신호와는 상관없는 일관성, 무작위 잡음이 상존 하게 된다.

따라서 잡음을 제거하고 신호 성분만을 추출하기 위한 수학적 방법을 도입하여 불필요한 성분을 제거해야한다. 이러한 방법으로 주파수 영역에서 원하는 신호만을 선별적으로 통과시키는 대역 통과 필터링이 있다. 주파수 영역에서 대역 필터($F_b(\omega)$)는 식 (1)으로 정의되며 Fig. 12와 같이 특정 주파수대역의 통과 혹은 제거시키는 부분을 송신원의 발생 주파수 대역의 특성에 맞게 설정하여 이용한다 (Sheriff 등, 1983).

$$F_b(\omega) = \begin{cases} 1 & |\omega_L| < |\omega| < |\omega_H| \\ 0 & |\omega_L| < |\omega| \text{ or } |\omega| > |\omega_H| \end{cases} \quad (1)$$

여기서, ω = angular frequency

ω_L = low-cut frequency

ω_H = high-cut frequency

그러나, 이 필터는 통과시키는 주파수와 제거시키는 주파수의 경계에서 불연속이 되며 이 급격한 변화는 필터링 후의 시간 영역에서 Gibbs 현상 (Gibbs phenomenon)을 일으켜 안정적인 결과를 나타내지 않는다. 따라서 불연속 점의 적절한 처리가 필요한데, window 함수를 이용하면 이 문제를 해결할 수 있다.

이러한 window 함수의 일종인 식 (2)의 Hanning window(Sheriff 등,

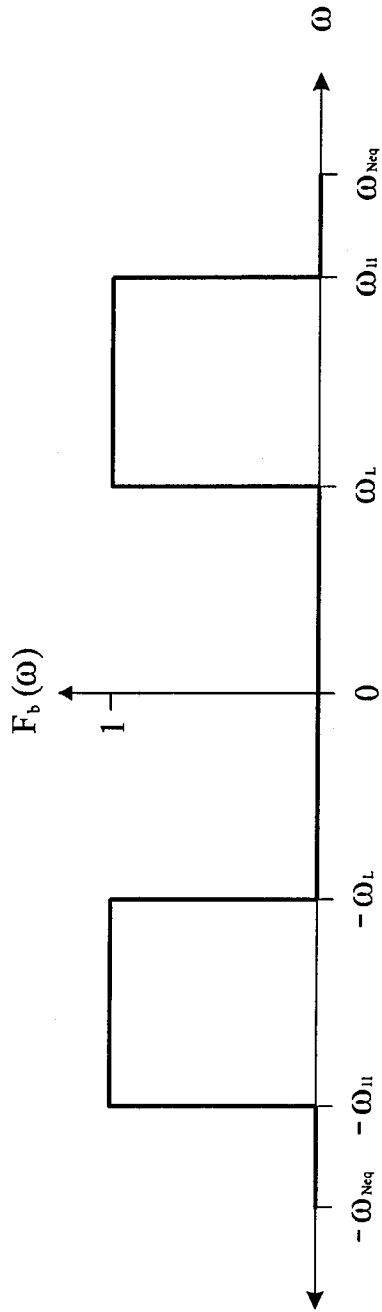


Fig. 12. Angular frequency plot of the bandpass filter

1983)로 대역 통과 필터의 경계부분을 처리하면, 수정된 대역 통과 필터는 Fig. 13과 같은 형태를 띠며, 이를 실제 자료의 한 트레이스인 Fig. 11(a)에 적용시키면 Fig. 14와 같이 안정적인 결과를 얻을 수 있다. 이 방법으로 전체 트레이스 Fig 10을 필터링한 결과는 Fig. 15와 같다.

$$W(\omega) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(\pi\omega/T_\omega) \quad (2)$$

III-3-2. envelope 함수

SBP로 측정된 해저지형에 의한 반사신호는 정현파(sinusoid)의 형태를 띠므로 반사신호의 강도(amplitude)나 시간결정(time picking)을 용이하게 하기 위해서는 신호의 극성(polarity)과 상관없는 진폭형태인 envelope 함수의 도입이 필요하다. envelope 함수는 주파수영역에서 함수의 위상변화를 시키는 힐버트 변환(Hilbert transform) 기법을 이용하여 극성을 가진 시간영역의 함수를 양(+의 값만 갖는 진폭에너지 형태로 변환시켜 준다.

sine 함수를 cosine 함수로 변환시키는 필터를 90° 위상 이동 필터(phase shift filter) 혹은 이상 필터(quadrature filter)라 하는데, 이 필터는 시계열 함수의 envelope를 구성하는데 유용하다. $X(Z)$, $Q(Z)$ 를 각각 실제 자료 시계열의 z변환과 위상 이동 필터라 하고, $Y(Z) = Q(Z)X(Z)$ 는 $X(Z)$ 를 90° 위상 변환시키는 힐버트 변환에 의한 결과로 $Q(Z)$ 와

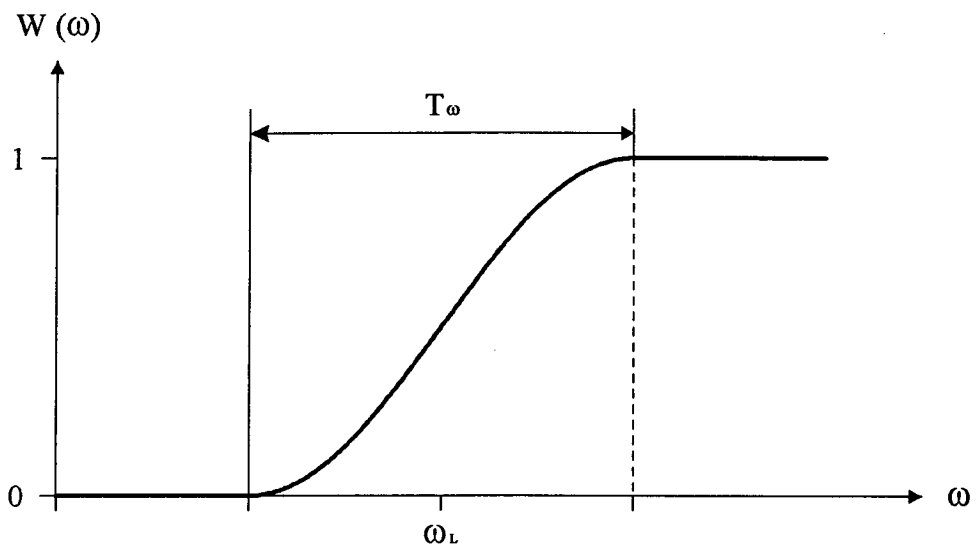


Fig. 13. Angular frequency plot of the Hanning window

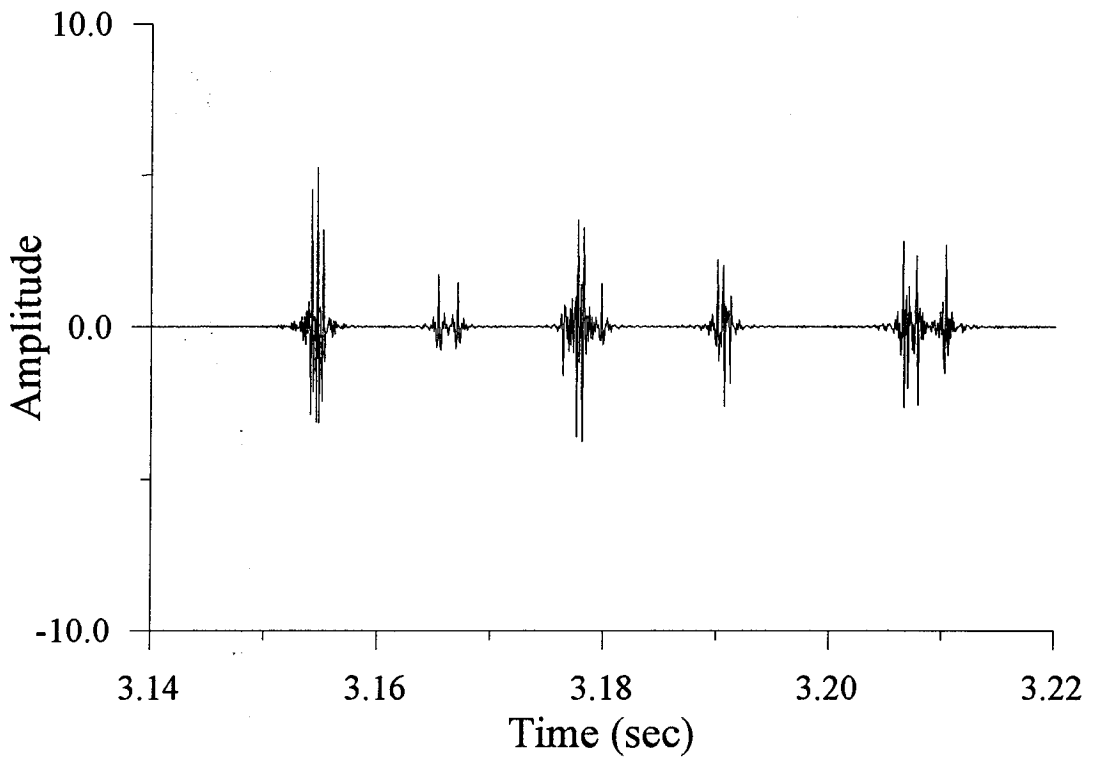


Fig. 14. Bandpass filtered result of sample trace in Fig. 11(a)

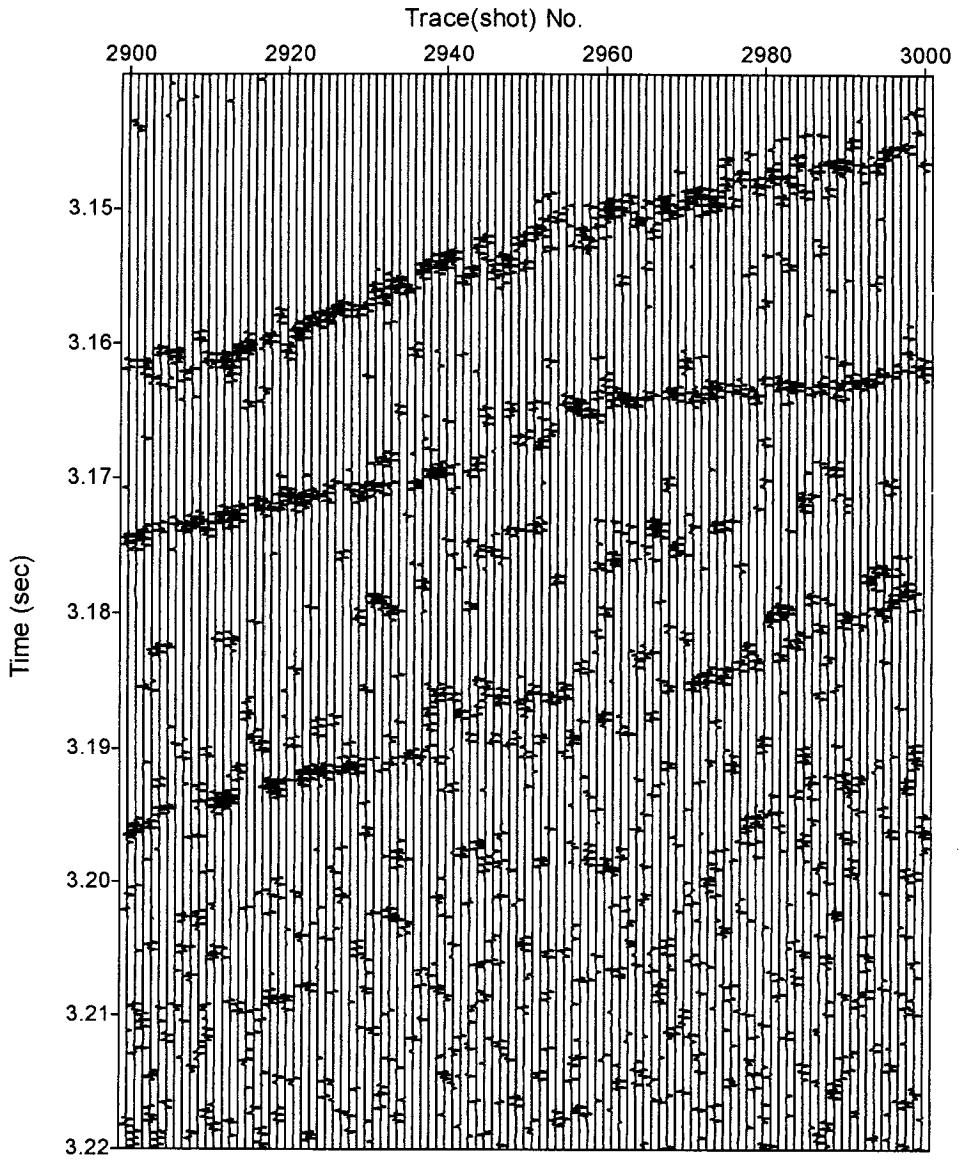


Fig. 15. Bandpass filtered profile of Fig. 10

$X(Z)$ 를 시간 영역에서 컨벌루션(convolution)한 형태이다. 이들을 이용하여 envelope 시계열을 구하는 것은 식 (3)과 같다 (Claerbout, 1976).

$$e_t = (x_t^2 + y_t^2)^{1/2} \quad (3)$$

대역통과 필터링을 거친 자료인 Fig. 14를 식 (3)을 이용하여 envelope 시계열로 바꾼 결과가 Fig. 16에 나타나 있다.

III-3-3. envelope 함수의 평활화(smoothing with a triangle)

평활화의 개념은 일반적인 의미의 필터링으로서 자료의 급격한 변화를 억제하고 전반적으로 부드러운 양상을 갖도록 하는 것이다. 평활화 필터(smoothing filter)의 일종으로 직각형 평활화법(smoothing with a rectangular or boxcar)는 직사각형 형태의 필터를 이동 평균(moving average)법에 의해 적용한 것으로 Fig. 17에서와 같이 통과 필터를 한 단위씩 일 방향으로 이동시키면서 평균한 값을 중앙의 값으로 대체하는 방법이다 (Claerbout, 1992). 이 방법을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

각각 $X(Z)$ 를 입력, $Y(Z)$ 를 출력, $B(Z)$ 를 필터의 z 변환된 형태라 하면, 이들의 관계는 식 (4)와 같다.

$$Y(Z) = X(Z)B(Z) \quad (4)$$

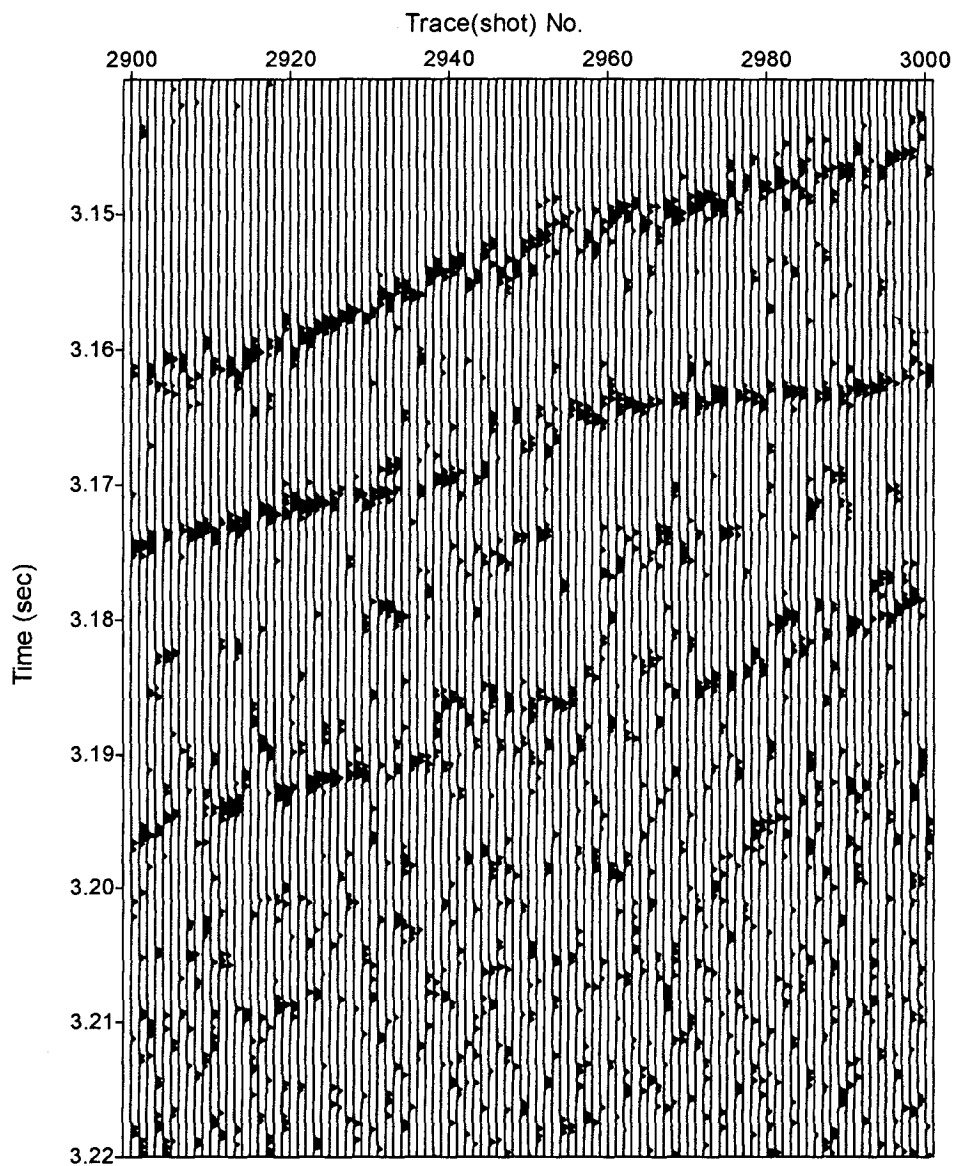


Fig. 16. Envelope section of Fig. 15 using Hilbert transform

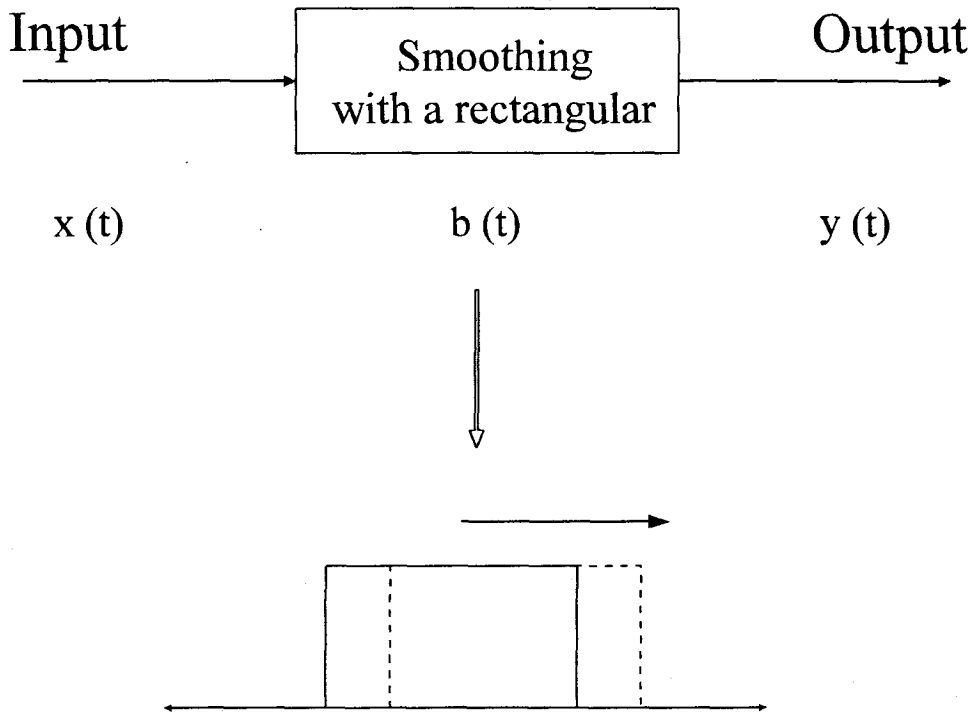


Fig. 17. Principle of smoothing technique with a rectangular or boxcar window (moving average)

이때 필터의 길이를 5 라 하면 필터의 z 변환은 식 (5)와 같다.

$$B(Z) = 1 + Z + Z^2 + Z^3 + Z^4 + Z^5 = \frac{1 - z^5}{1 - z} \quad (5)$$

식 (5)를 식 (4)에 대입하여 정리하면 입력과 출력의 관계는 식 (6)과 같다.

$$(1 - z)Y(Z) = X(Z)(1 - z^5) \quad (6)$$

이 결과를 시계열로 나타내면,

$$y_t = y_{t-1} + x_t + x_{t-5} \quad (7)$$

이 되는데 필터의 길이 nb 를 임의의 수라 하면 직사각형 평활화법은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_t = y_{t-1} + x_t + x_{t-nb} \quad (8)$$

위의 방법은 단순히 이동 평균법에 의해 평활화 기법을 이용한 것이나, 보다 통계적으로 안정적인 방법으로 위의 필터를 두 번 적용하는 삼각형 평활화법(smoothing with a triangle)이 있다. 이 방법은 시간 영역에서 직사

각형 형태의 필터를 컨벌루션한 것으로, 그 결과는 Fig. 18과 같이 평균값을 대체할 중앙을 중심으로 가중치를 주게 되는데 중앙의 첨점을 제외하고는 가우스 함수(Gaussian function)의 형태와 유사하다 (Claerbout, 1992).

이 필터를 Fig. 16의 envelope 시계열에 적용하면 Fig. 19과 같이 통계적으로 안정적이면서 함수의 형태가 전반적으로 부드러워져서, 음파 신호의 진폭(최대치)의 값이나 최대 진폭에서의 측정시간을 시간 결정(time picking) 프로그램을 이용하여 오차 없이 추출해 낼 수 있다.

III-4. 신호처리 자료의 해석

계수화 장비에 의해 취득된 자료인 Fig. 10을 대역 통과 필터링, envelope 함수, 평활화 기법의 신호처리 과정을 통해 Fig. 19와 같이 해저 지층에서의 반사신호를 정량적으로 나타내었다. 이 결과를 시간 결정 프로그램을 이용하여 각 구간별로 envelope의 최대 값을 선택하면 각 퇴적층으로부터의 반사신호 시간을 알 수 있으며 이에 대한 결과가 Fig. 20에 나타나 있다.

Fig. 20에서 각각의 반사 신호는 트레이스 축을 따라 약간의 편차를 가지고 부드럽지 못한 양태를 띠고 있다. 이는 탐사시 파도에 의한 조사선의 3차원적인 움직임에 의해 발생하는 측정상의 오차로 볼 수 있는데, 실제로는 해저면과 퇴적층들의 수직적인 위치가 그림보다 부드럽게 변화하

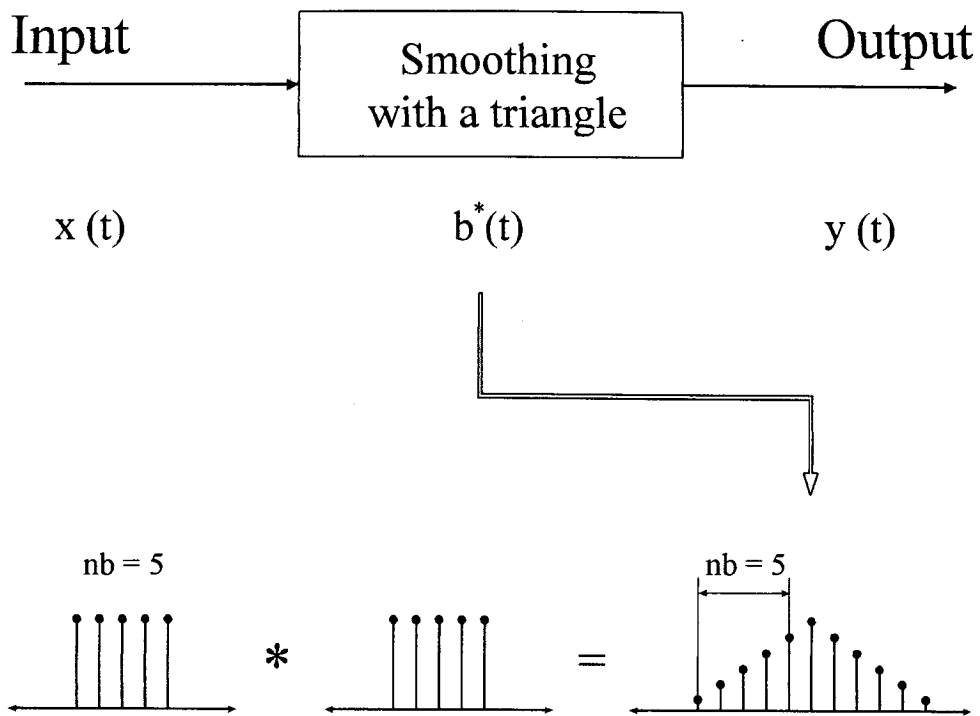


Fig. 18. Principle of smoothing technique with a triangle window

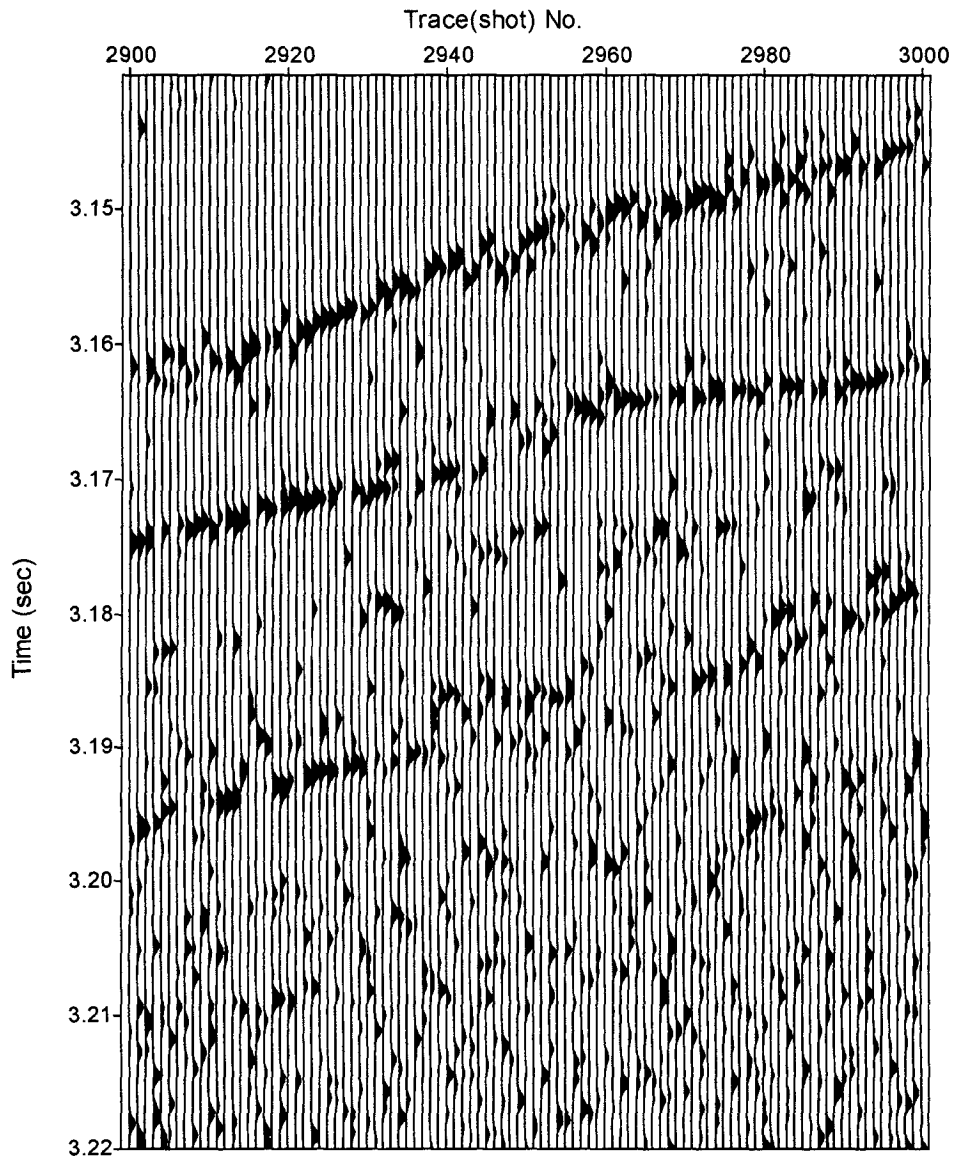


Fig. 19. Triangle window smoothing result of Fig. 16

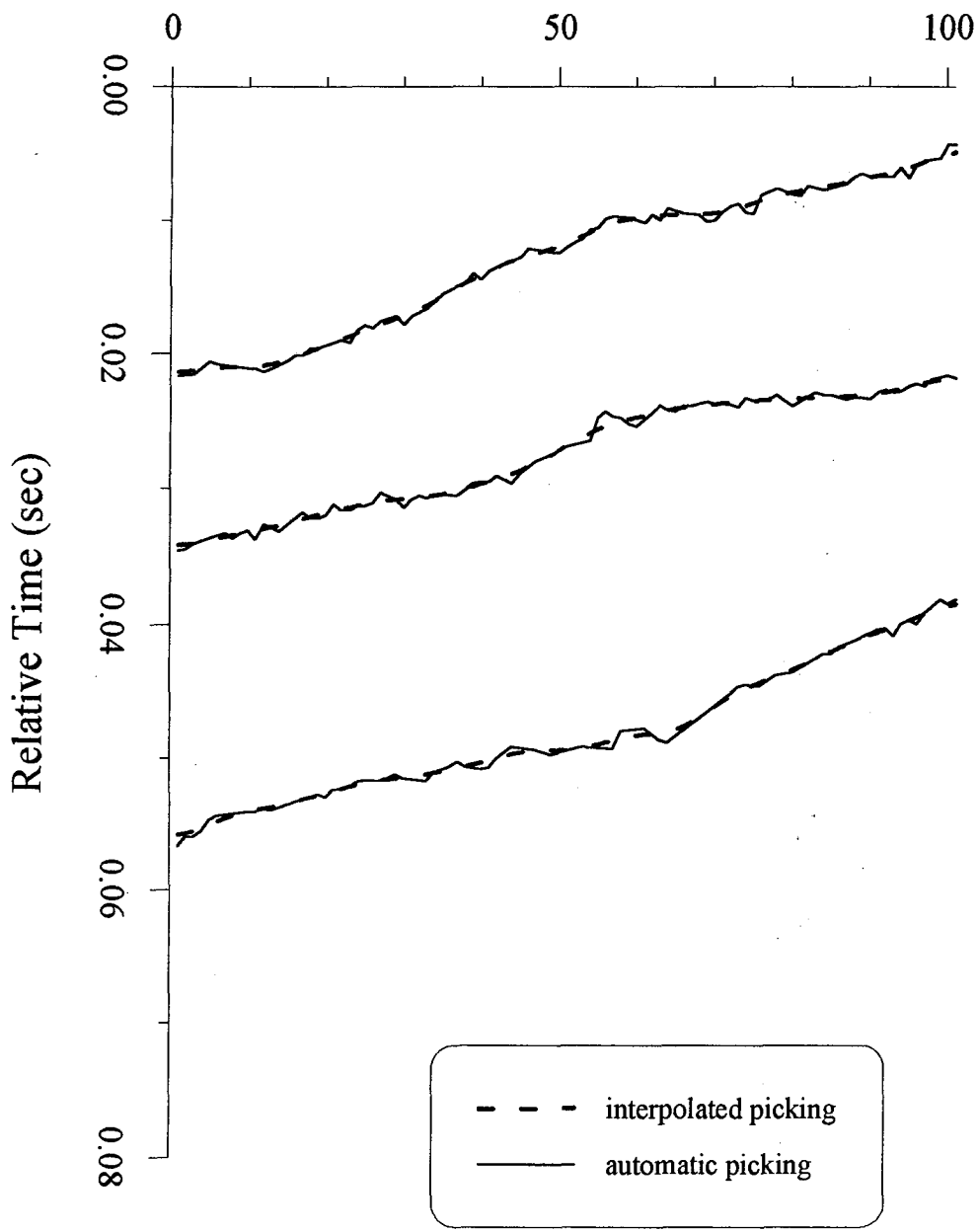


Fig. 20. Trace picking result with conventional and interpolated method on Fig. 19

는 양상을 보일 것이다. 그러나 이들간의 오차는 정확하게 보정하기가 현실적으로 어렵다. 이에 대한 해결 방법으로 각각의 트레이스별로 수행한 평활화 기법을 각 반사층별로 트레이스 축을 따라 수행한다면 조사선에 의한 측정상의 오차를 완화시키는 효과가 있을 것이다. 이 방법을 이용하여 Fig. 20에 대해 트레이스간의 평활화를 적용시킨 결과가 Fig. 21이다.

Fig. 21은 현장에서 취득한 디지털 자료로부터 가능한 자료처리 방법을 이용하여 해저로부터의 반사파 신호를 정량적으로 나타낸 최종 결과이다. 이 결과로부터 SBP의 연속적인 음파발생에 의해 프로파일된 축선 하부의 해저면과 기반암의 위치 그리고 두 경계면 사이에 존재하는 퇴적층의 위치를 정확히 알 수 있다. 이 때 조사선으로부터 해저면에 이르는 음파의 왕복주시는, 해수의 평균 속도인 1,500 m/s로 가정하였을 때 Fig. 21에서 초기 반사파 신호의 범위는 3.145~3.167 sec 사이에 있으므로, 이를 수심으로 환산하면 2,358~2,375 m 가 되며 이는 이 구간에서의 해저면에 해당한다. 이 결과는 아날로그 프로파일과 비교하였을 때와 비슷하며, 수치화된 결과는 자료의 해석시 일관적이고 정량적이게 된다.

한편 SBP에 의한 천부지층 탐사는 단일 채널에 의한 것이므로 퇴적층의 속도구조를 정확하게 알 수 없다. 따라서 다중 채널 탐사법이나 기타 퇴적층의 속도구조를 추정할 수 있는 탐사법에 의한 결과와 비교한다면, SBP에 의한 퇴적층간의 주시차를 이용하여 퇴적층의 두께를 정확히 알 수 있다.

IV. 결과 및 기대효과

계수화 장비를 이용한 SBP 시스템의 개선은 정성적으로만 이용될 수 있는 아날로그 자료를 기존 장비의 교체에 따른 경제적인 부담 없이 디지털 자료를 현장탐사시 실시간에 취득함으로써 탐사자료의 이용을 극대화시킬 수 있는 기술을 자체적으로 개발하게 되었다. 디지털화된 자료는 컴퓨터를 이용하여 여러 자료처리 기법을 도입하여 해저지형과 퇴적층의 위치와 두께 등에 대한 정량적인 자료로 변환시킬 수 있었으며, 이를 바탕으로 심해저 광물자원 탐사시 광물의 분포 상황과 개발 계획 수립 등에 보조적으로 이용될 수 있는 자료가 확보되었다.

본 연구에서의 결과는 자체 개발기술의 습득과 축적으로 보유장비의 운용시 효율의 극대화와 해외 고가장비의 수입대체 효과를 가져 올 수 있으며 추후 장비의 구입 시에도 운용능력의 향상을 꾀할 수 있다. 심해저 광물자원 탐사의 경우 SBP 외에도 자원의 분포와 해저지형 파악을 위한 각종 지구물리 탐사장비가 있으므로 디지털 SBP의 자료는 타 탐사자료와의 상호 비교와 보완적으로 이용될 수 있다. 이를 범용의 데이터 베이스(data base)화하여 GIS를 이용한다면 종합적인 자료의 이용과 관련 학문 분야의 이용자에게도 편의를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

과학기술처, 1993, 해양지구물리 탐사기술 개발연구(III), p.253-286

과학기술처, 1992, 천해저 고해상 탄성과 자료취득 기술개발연구 (I),
p.11-59

김한준, 조철현, 최동림, 안충현, 1988, 3.5 kHz 음향 단면탐사자료의 처리
에 관한 연구 : 해양연구, v.10(2), p.29-33

민경덕, 서정희, 권병두, 1987, 응용지구물리학 : 우성문화사

이호영, 1991, 마이크로 컴퓨터를 이용한 천해저 고해상 반사법 탄성과 탐
사자료의 취득 및 처리에 관한 연구, 서울대학교 공학박사 학위논문

Bays, A. R., 1984, The impact of microelectronic technology on seismic data
acquisition, The Leading Edge, v.3, p.54-57.

Bays, A. R., and Blasco, S., 1986, A new high resolution digital marine
acquisition system, The Leading Edge, v.5, p.51-54.

Claerbout, J. F., 1992, Earth sounding analysis : Blackwell Scientific
Publications, Boston.

Claerbout, J. F., 1976, Fundamentals of geophysical data processing :
Mcgraw-Hill Book Co., New York.

Scanlon, K. M., 1992, Fe-Mn Nodule Field Indicated by GLORIA, North of
the Puerto Rico Trench, Geo-Marine Letters, v.12, p.208-213

Sheriff, R. E. and Geldart, L. P., 1983 : Exploration seismology v. 2 :
Cambridge Univ. Press.