

지하 구조 영상화를 위한 3차원 탄성파 자료처리시스템 개발 3-D seismic data processing system for underground investigation

신동훈¹⁾, Dong-Hoon Sheen, 지준²⁾, Jun Ji, 이두성³⁾, Doosung Lee

¹⁾ 한성대학교 영상화 기술 연구실 연구원, Researcher, Imaging Technology Research Lab., Hansung Univ.

²⁾ 한성대학교 정보시스템공학과 조교수, Assistant Professor, Information System Engineering, Hansung Univ.

³⁾ 한성대학교 정보시스템공학과 부교수, Associate Professor, Information System Engineering, Hansung Univ.

SYNOPSIS : Primary purpose of the system developed in this study is 3-D seismic data processing system for subsurface structure imaging and this system is developed in PC based on Linux for lower-cost computer. Basic data processing modules are originated from SU (Seismic Unix) which is widely used in 2-D seismic data processing and auxiliary modules are developed for 3-D data processing. The system which is constructed by using these data processing modules is designed to GUI (Graphic User Interface) in order that one can easily control and for this purpose, GTK (Gimp Tool Kit) conventionally adapted in producing Linux application.

Key words : Subsurface structure imagin, 3-D seismic data processing system, SU, GUI, Linux, GTK

1. 서론

탄성파 기술은 지반의 연약한 부분이나 파쇄대의 발달 상황을 밝히는데 있어서 가장 효율적인 기술로서 주요 지상 및 지하 구조물의 부지 조사, 교각, 터널등 주요 구조물의 부식감시등 지질 공학적인 분야와, 핵 폐기물 저장 부지조사, 토양 및 지하수 오염 조사등 환경 분야에 적용되고 있으며, 이 기술의 응용의 증대가 기대되고 있다.

일반적으로 석유탐사에 사용되는 3차원 탄성파 자료처리에는 처리해야 할 자료의 방대한 양으로 인해 메인 프레임급의 컴퓨터나 고성능의 workstation이 사용되고 있으며, 이러한 하드웨어를 기반으로 고가의 상업용 소프트웨어를 이용해 자료처리 시스템을 구축하고 있다. 본 연구에서는, 현장에서 신속한 탐사계획 및 탐사자료의 품질등에 대한 검증을 포함한 일련의 탄성파 자료처리를 PC에서 실시할 수 있도록 지반조사에 사용될 3차원 탄성파 자료처리시스템을 개발하였다. 또한 본 시스템은 Linux와 탄성파 자료처리에 대한 전문적인 지식이 없는 사용자도 쉽게 자료처리를 할 수 있도록 GUI(Graphic User Interface) 환경으로 제작되었다.

2. 개발환경

본 연구에 사용된 시스템은 일반 사용자가 쉽게 접할 수 있는 환경에서 자료처리 시스템을 사용할 수 있도록 하기 위해 Linux 환경의 PC를 기반으로 하였으며, 개발에 사용된 컴퓨터는 Table 1과 같다.

Table 1. Resources of a computer for developing the 3-D seismic data processing system.

Hardware	CPU	Pentium-III 450MHz	
	Memory	256 MByte	
	Hard-Disk	30 GByte	
Software	OS	Linux (Alzza RedHat 6.1)	
	Libraries	SU / GTK	

2차원 탄성과 자료처리를 위해 일반적으로 사용되는 소프트웨어로는 SU(Seismic Unix; Cohen and Stockwell, 1999)와 SEPLib(Stanford Exploration Project Library)등이 있으나, 현재 한국에서는 대부분의 연구자들이 SU를 사용해 탄성과 자료처리를 하고있다. 따라서 어느 정도 폭 넓은 사용자를 확보한 SU를 기반으로 3차원 탄성과 자료처리시스템을 개발하여 보다 많은 연구자들이 쉽게 새로운 시스템에 적응할 수 있도록 하였다.

SU는 2차원 자료처리를 위해 개발되었으나 3차원 자료의 기본적인 처리과정에서도 SU 라이브러리를 대부분 그대로 사용 가능하다. 3차원 자료처리 과정에서 발생하는 문제는 수진기와 송신기의 배열이 복잡할 수 있으며, 자료의 크기가 2차원 탐사와 비교해 볼 때 매우 크다는 것이다. 이것으로 인해 각각의 트레이스에 접근하여 자료처리를 하는 과정이 어렵게 된다. 따라서 본 연구에서는 보다 쉽게 3차원 자료처리를 가능하도록 하기위해 SU에 GUI를 추가했으며 필요한 새로운 모듈도 SU 라이브러리를 이용하여 개발하였다. GTK(Gimp Tool Kit) 라이브러리는 Motif와 유사한 X-윈도우 기반의 라이브러리이며

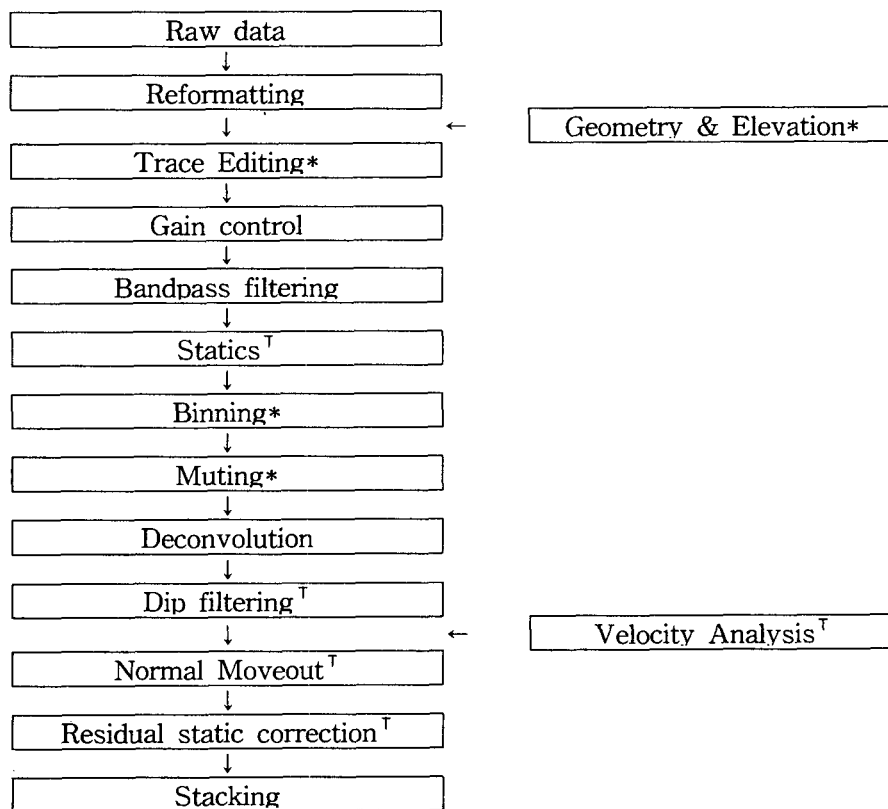


Fig. 1. Flowchart of data processing.

* denotes module that has developed and [†] module in developing.

손쉽게 구할 수 있기 때문에 현재 이를 이용한 많은 프로그램이 제작되고 있다. 따라서 본 연구에서도 이를 이용하여 GUI를 구현하였다.

3. 자료처리 모듈

본 연구에서 개발중인 탄성과 자료처리시스템의 주된 목적은 육상에서 지반조사를 위해서 수행되는 3차원 탄성과 자료처리로서, 이때 주로 사용되는 자료처리 모듈들을 적용 순서에 따라 도시하면 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 대부분의 자료처리 모듈들은 입력자료가 2차원 또는 3차원 자료에 관계 없이 동일하게 적용할 수 있으며, 3차원 자료를 고려하기 위해, 그 외의 자료처리 모듈에 대해서는 새로운 모듈개발이 필요하였다. 따라서 전자의 경우에는 SU 에서 지원되는 모듈을 그대로 사용하며, 후자의 경우는 유사한 기능의 SU 모듈을 이용하여 새로운 모듈을 제작하고 GUI로 사용할 수 있도록 하였다.

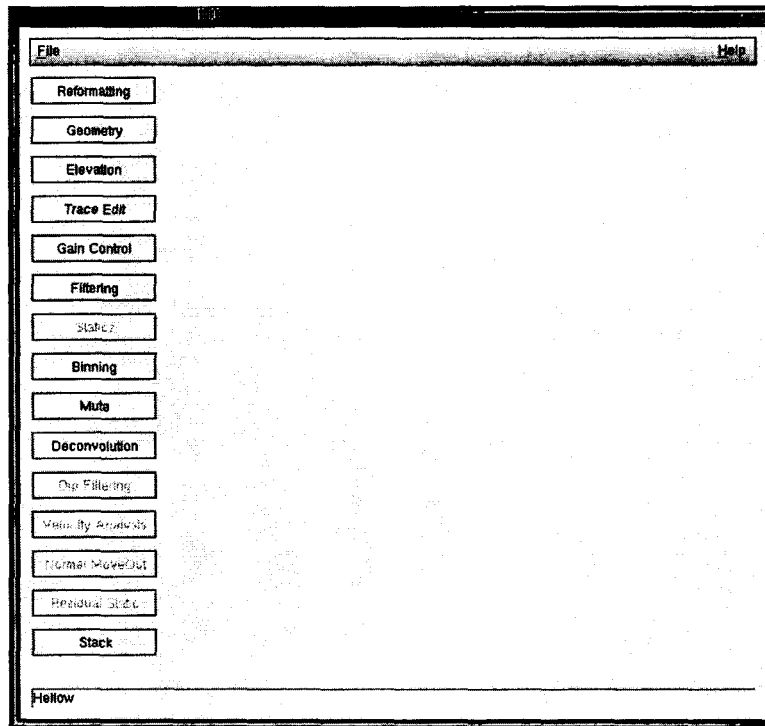


Fig. 2. Initial screenshot of ISU3D. According to the order of seismic data processing, each procedure is visualized by button.

개발된 시스템의 명칭을 ISU3D(Interactive Seismic Unix 3-D)로 하였으며 실행화면은 Fig. 2와 같이 나타나게 된다. Fig. 2에서 알 수 있듯이, 각각의 모듈들이 좌측에 버튼형태로 위치하며 각각의 버튼을 선택하게 되면 그 모듈을 실행시키는데 필요한 변수들을 입력 또는 선택하는 창이 생성된다. 이를 통해 탄성과 자료처리 과정을 직관적으로 알 수 있어 자료처리에 익숙하지 않은 사용자도 어느 정도의 자료처리를 할 수 있도록 고려하였다. 각각의 모듈 실행시 사용방법에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

3.1 Reformatting

현장에서 획득된 자료는 SEG2 형식으로서 본 연구에서 개발중인 시스템에서 사용할 수 있으려면 SU 파일형식으로 변환해 주어야 한다. 이 과정에서는 2차원과 3차원 자료의 구분이 필요하지 않기 때문에 SU의 SEG2SEG1, SEG1READ와 SEG1CLEAN을 내부적으로 호출하여 SU 파일형식을 얻게 된다(Fig. 3). 입력파일과 출력파일을 선택하고 입력파일의 수를 지정한 후 “Run” 을 실행하면 자료의 형식 변환이 이루어지게 된다.

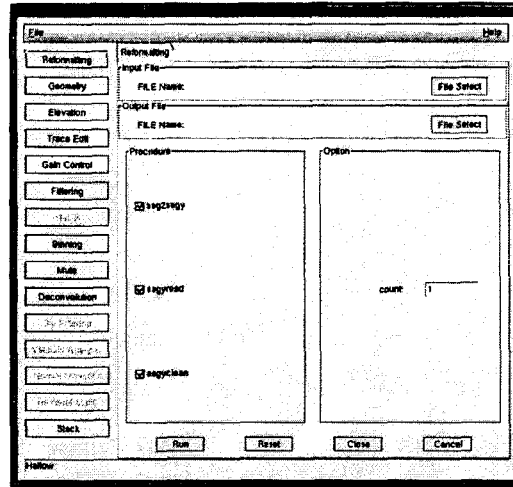


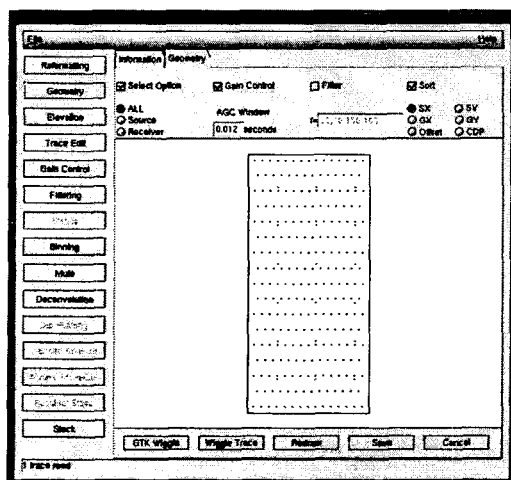
Fig. 3. Reformatting procedure which converts SEG2 format to SU format.

3.2 Geometry & Elevation

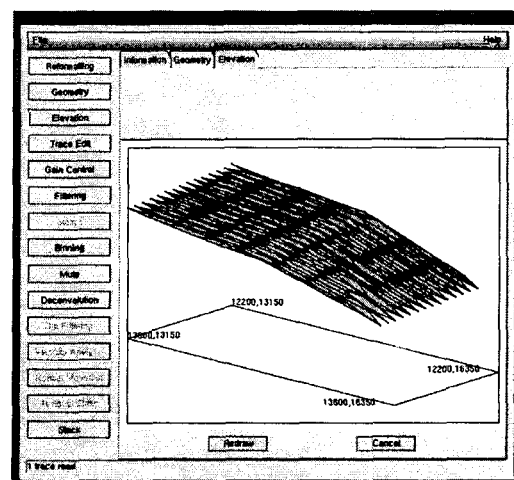
SU 파일형식에서 각 트레이스는 헤더 부분과 데이터 부분으로 나뉘어 있다. 이때 헤더 부분에는 여러 가지 관련변수들이 저장되어 있는데 파일 형식만을 바꾼 자료는 실제 자료처리에 필요한 정보들을 포함하고 있지 않기 때문에 각각의 정보를 헤더에 하나씩 추가해 주어야 한다. 이 과정은 3차원 탐사 계획에 따라 상이하게 적용해야 한다. 또한 세부적인 점검을 통해 신중하게 이루어져야 하는 과정이기 때문에 이것을 GUI로 구현하지는 않았다. 본 연구에서는 이진용 등(2000)과 신동훈 등(2000)이 사용했던 자료를 토대로 자료처리 시스템을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 입력한 헤더 정보를 트레이스마다 직접 확인하고 수정할 수 있도록 설계하였다. 이러한 과정을 통해 복잡한 3차원 자료의 헤더 정보를 손쉽게 선택적으로 확인 및 수정할 수 있도록 하였다.

Fig. 4a는 3차원 탐사자료를 읽어서 geometry를 표시한 것이다. 송신기의 위치는 검은색 점으로 수신기는 붉은색 점으로 표현된다. 원하는 수신기와 송신기를 선택한 후 간단한 이득조절과 bandpass 필터링(filtering)에 대한 설정을 선택하여 원하는 트레이스들을 위글(wiggle) 트레이스로 플롯(plot)할 수 있어 선택된 트레이스에 대해 다양하게 접근하여 각 트레이스의 상태를 확인할 수 있다. 또한 이 방법을



(a)



(b)

Fig. 4. Procedures for visualizing and verifying 3-D seismic data; (a) Geometry procedure, (b) Elevation procedure.

통해 이전 단계에서 입력한 geometry가 정확한지 쉽게 점검할 수 있으므로 헤더 정보 입력 과정에서 발생할 수 있는 오류를 최소화 할 수 있었다.

송신기와 수신기의 위치는 탐사 계획에 의거하며 현장에서의 변경사항 또한 쉽게 결정할 수 있는 것과 달리 고도 정보는 측량을 통해서 특정 위치에서만 정보를 취하게 된다. 따라서 고도정보를 모든 트레이스에 입력하기 위해서 임의의 고도 측정점들로부터 각각의 수신기와 송신기 고도를 역 거리 내삽법(inverse distance interpolation; 신동훈 등, 2000)을 통해 계산하도록 하였다. 이러한 고도 정보 역시 탐사계획에 따라 상이하므로 입력과정을 GUI로 구현하지는 않았지만 SU의 다른 모듈과 같은 형태로 사용할 수 있는 프로그램을 개발하였다. Fig. 4b는 고도 정보를 확인하는 과정으로, 각 수신기와 송신기는 점으로 표현되며 송신기들은 다시 면을 이루게 되는데 간단한 마우스 조작으로 회전, 확대와 축소를 실행하여 탐사 지역의 고도정보를 검증할 수 있다.

3.3 Trace editing

탐사를 통해 획득한 자료에는 여러 가지 문제로 인해, 신호가 기록되지 않거나 잡음이 많은 트레이스가 발생할 수 있다. 이러한 트레이스는 자료처리 과정에서 왜곡을 줄 수 있으므로 자료처리 이전에 제거해야한다. 그러나 이미 언급한 바와 같이 SU를 이용해 모든 트레이스에 접근하여 다양한 방법으로 확인한 후 트레이스의 일부를 제거하는 것은 대단히 번거로운 작업이 아닐 수 없다. 따라서 이 과정을 단순화 하기 위해, 공진점 기록과 공수점 기록을 수평 그리고 수직방향으로 선택할 수 있도록 하였다. 이렇게 선택된 트레이스를 다시 다양한 방법으로 플롯함으로써 사용자는 모든 트레이스에 용이하게 접근하여 필요없는 자료를 제거할 수 있게 되었다(Fig. 5).

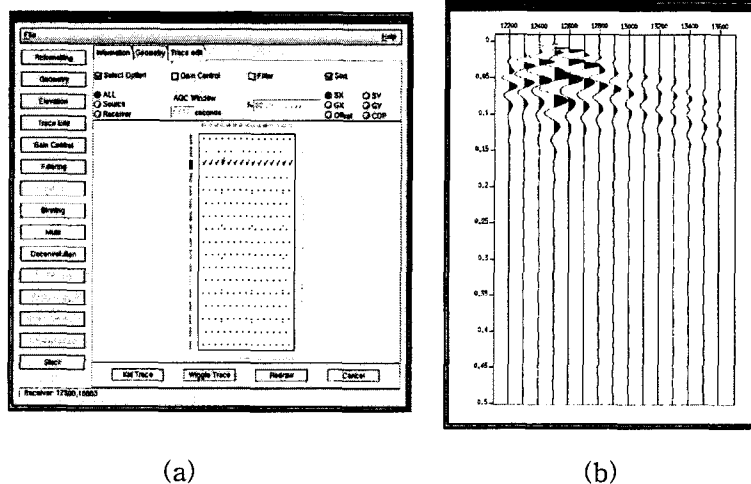
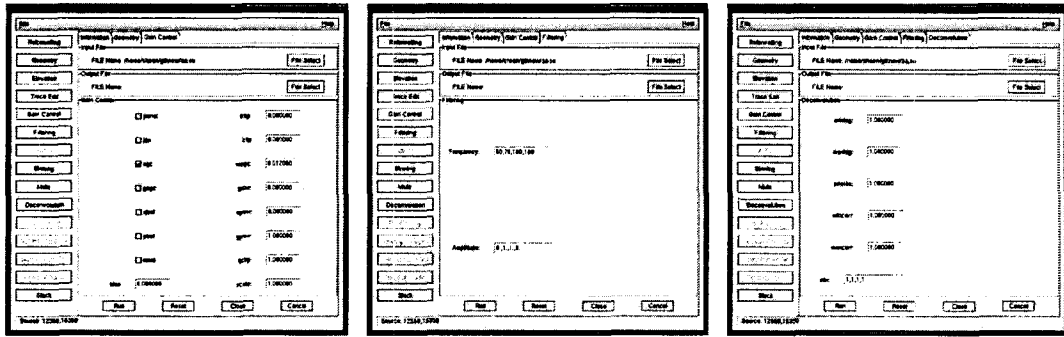


Fig. 5. Trace editing procedure. (a) Select traces, and (b) plot these by wiggle trace.

3.4 Gain Control, Filtering & Deconvolution

이 과정은 2차원과 3차원 자료에 적용하는데 있어서 차이가 없으며 또한 특별한 기능이 필요하지는 않다. 따라서 본 연구에서는 단순히 입력 파일과 출력 파일을 선택한 후, 각각의 입력 파라미터를 결정하는 과정을 GUI환경으로 제작하였다. 수행하게 될 일련의 자료처리 과정은 내부적으로 SU의 모듈을 호출하여 동작하도록 하였다(Fig. 6).

3.5 Binning

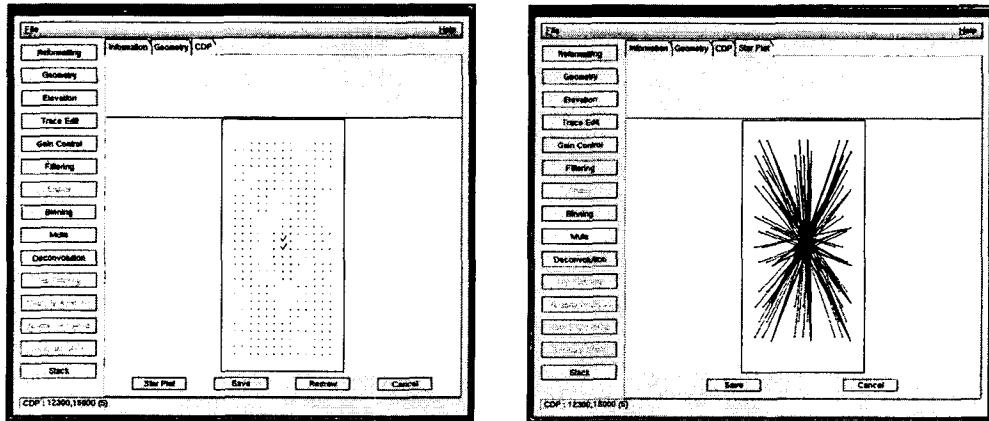


(a) (b) (c)

Fig. 6. (a) Gain Control, (b) Filtering, and (c) Deconvolution procedures.

일반적으로 2차원 자료처리과정에서는 공심점(CDP; Common Depth Point) 취합(gather)을 통해 자료 분석에 이용한다. 그러나 3차원에서는 특정 격자에 포함되는 자료들, 즉 Common Cell 취합의 과정을 거치게 된다(Yilmaz, 1987). SU가 기본적으로 2-D에 기반하기 때문에 3-D에서 CCP를 정확히 표현하기 위해서는 수평, 수직방향의 2개의 key값이 필요하게 되었다. 새로운 key를 헤더에 추가할 수 있으나 이는 모든 프로그램에 영향을 미치게 되며 기존의 탐사자료와의 호환성을 잃게 된다. 따라서 새로운 key를 이용하기 보다 기존의 key를 이용하였다.

기존의 정수형의 CDP key를 이용해 두 개의 key를 저장하기 위해서 수평방향과 수직방향의 CCP값을 각각의 미터 단위의 정수로 바꾼 뒤 0~999까지의 값에는 수직 방향의 좌표를 그리고 1,000이상의



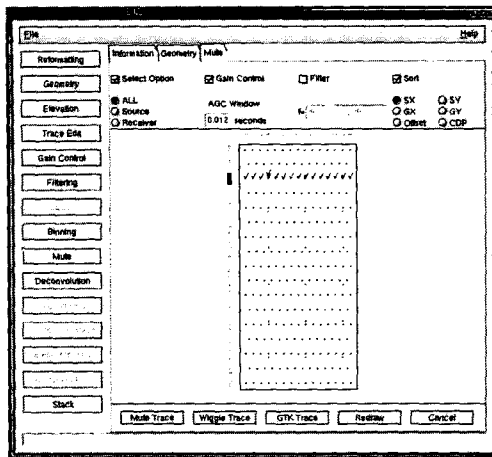
(a) (b)

Fig. 7. (a) Binning procedure and (b) starplot procedure which display geometry of traces in selected cells

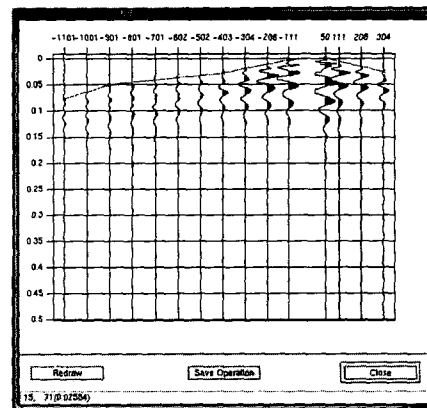
값에는 수평방향의 좌표를 대입하였다. Fig. 7은 binning된 자료에서 각각의 bin을 도시하며 각 셀에 속한 트레이스 수를 단계별로 색으로 구분토록 하였다. 이 과정에서 사용자는 특정 bin에 속한 트레이스만을 스타플롯이나 위글트레이스로 플롯할 수 있으며, 새로운 파일로 저장할 수도 있다.

3.6 Mute

Mute는 트레이스상에서 자료처리에 필요없는 파(wave)들 또는 잡음이 나타나는 부분이나, NMO 보정후에 파형의 이완(stretch)이 심하게 나타나는 부분을 제거하는 작업을 말하며, NMO보정 전이나 후에 적절히 시행할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 8. Mute procedure. (a) Select traces, (b) plot wiggle trace according to offset distance, and then determine range for Mute.

전반적인 자료처리과정을 일관되게 하기 위해서 Mute 과정은 트레이스 편집 과정과 비슷하게 사용할 수 있도록 하였다. 트레이스의 선택을 트레이스 편집 과정과 동일하게 진행하며 이때 플롯하는 방식은 오프셋에 따라 정렬되도록 하였다. Mute를 적용시킬 구간은 플롯된 트레이스상에서 직접 결정할 수 있도록 인터페이스를 개발하였다 (Fig. 8).

3.7 Dip filtering, Velocity analysis, & Normal Moveout

Dip filtering, 속도분석과 NMO 과정을 처리하기 위해서는 트레이스 자료를 시간-공간 영역이 아닌 주파수-wave number 영역으로 변환이 필요하다. 3차원 자료를 변환하기 위해서는 2차원 푸리에 트랜스폼(Fourier transform)을 사용해야 하는데, 일반적으로 3차원 자료의 특성상 공간영역에서 트레이스가 불규칙하게 분포하게 된다. 따라서 FFT를 적용하기 위해서는 트레이스 내삽을 통해 규칙적인 형태로 바꾸어야 한다. 이 부분은 공심점 취합에 대한 역산을 이용한 방법(Ji, 1996)을 통해 해결할 수 있으며 현재 연구 진행 중에 있다.

2차원 자료처리와 비교해 볼 때 큰 차이를 보이는 것은 수신기와 송신기가 2차원으로 분포함으로써 나타나는 현상으로 송·수신기의 방향에 따른 속도의 변화가 나타나는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 방향에 따른 속도 분포(azimuth-dependent velocities)를 분석하고 이를 NMO에 적용해야 하며(Yilmaz, 1987; 이진용, 2000), 이에 대한 연구도 진행중에 있다.

3.8 Stacking

각각의 트레이스들은 여러 가지 형태의 잡음을 포함하는데 그 성질에 따라 무작위 잡음과 일관성 있는 잡음으로 구분되며 중합(stack)에 의해 무작위 잡음에 의한 진폭을 줄일 수 있으므로 신호대 잡음비를 향상시킬 수 있게 된다(Mcquillin et al., 1979). 또한 NMO의 과정을 거친 자료를 중합하면 일관성 있는 잡음으로 나타나는 그라운드롤, 직접파, 선두파, 회절파, 다중반사파등은 위상이 일치하지 않기 때문에 역시 신호대 잡음비가 증가되는 효과가 있다(Telford, 1990).

중합과정 역시 2차원 자료와 3차원 자료를 처리하는 데 있어서 동일하게 적용할 수 있으므로 Fig. 9와 같은 과정을 통해 중합과정을 처리할 수 있도록 하였다.

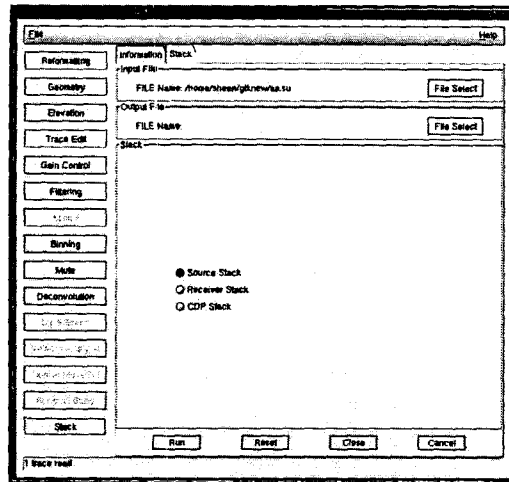


Fig. 9. Stacking procedure

4. 결론 및 토의

본 연구에서 개발한 자료처리 시스템은 3차원 자료의 초기 처리 과정을 손쉽게 작업 및 확인을 가능하게 해주는 보조 프로그램으로써, SU와 병행하여 작업할 수 있으므로 data processing의 초기단계인 geometry의 확인, 트레이스 편집, 간단한 이득 조절 등에 특히 유용하다고 할 수 있다.

SU library를 기반으로 각각의 트레이스에 접근하도록 하였으며, GUI를 위해서 GTK를 이용하였다. 또한 wiggle trace의 플롯팅, 이득조절, bandpass filtering과 같은 작업은 SU를 그대로 이용하였으며, 단지 parameter 대입을 GUI로 바꾸었다.

SU는 2차원 자료처리를 위해 개발된 틀이기 때문에 3차원 자료처리를 위해서는 많은 부분에 대한 수정과 추가가 필요하다. 아직까지 완성하지 못한 statics, Trace balancing, velocity analysis 등의 작업을 진행해야 하며, 또한 사용자 중심의 시스템으로 보완하기 위한 GUI 환경 개선 및 자료처리 과정의 로그 기록을 활용할 수 있도록 할 계획이다.

사사

이 연구는 국가지정연구실 사업 과제 “탄성과 영상화 기술 연구개발 및 응용”의 일부로 수행하였다. 한국 과학기술 평가원의 재정적 지원에 감사한다.

참고 문헌

1. 신동훈, 지준, 이두성(2000), "PC-기반의 3차원 탄성과 자료처리시스템(α -버전)", 제 1회 ITRL-SILC 학술 발표회.
2. 이진용, 윤상호, 지준, 이두성(2000), "지반침하지역에서의 3차원 탄성과 영상화 (초기 시도)", 제 1회 ITRL-SILC 학술 발표회.
3. Cohen, J. K. and Stockwell, Jr. J. W.(1999), "CWP/SU: Seismic Unix Release 33: a free package for research and processing", *Center for Wave Phenomena*, Colorado School of Mines.
4. Ji, J.(1996), "Near-offset interpolation in Wavefront synthesis imaging", *Journal of the Korean institute of mineral and energy resources engineers*, vol. 33, no. 5, 311-317.
5. Mcquillin, R., Bacon, M., and Barclay, W.(1979), *An Introduction to Seismic Interpretation*, Graham & Trotman Ltd Publishing.
6. Telford, W. M., Geldart, L. P., and sheriff, R. E., 1990, *Applied Geophysics*, 2nd ed., Cambridge University Press.
7. Yilmaz, O., 1987, *Seismic data processing: Society of Exploration Geophysics*, Tulsa.