

PC기반의 천해저 다중채널 탄성과 자료의 전산처리

공영세 · 김국주 · 김성우 · 이호영* · 김원식* · 김희준
부산수산대학교 응용지질학과, *한국자원연구소 해저자원부

PC-based Processing of Shallow Marine Multi-channel Seismic Data

YOUNG SAE KONG, GUK JU KIM, SUNG WOO KIM, HO YOUNG LEE*,
WON SHIK KIM* and HEE JOON KIM

Department of Applied Geology, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea
**Marine Resources Division, Korea Institute of Geology, Mining and
Materials(KIGAM), Taejeon 305-350, Korea*

PC기반의 디지털 탄성과 시스템에 다중채널 수신기(6채널)를 연결하여 천해저 탄성과 반사법 자료를 취득하고 이를 PC에서 전산처리하였다. 자료처리 내용은 전처리, 너울효과보정, 주파수필터링, 이득회수, 디콘볼루션, 중합, 구조보정, 단면도작성 등이다. 이러한 다중채널 디지털 자료취득 및 처리를 거친 최종 단면을 종래의 아날로그 기록계의 단면과 비교해 본 결과 다중반사를 포함하는 잡음이 제거 혹은 억제되고 신호는 강화되었으며 해상도 또한 향상되었다. 종래의 아날로그 탄성과 장비에 결합하여 사용하는 천해저 다중채널 디지털 탄성과 시스템 및 자료처리 소프트웨어는 경제성이 높고, 아날로그 시스템에 비해 현장작업이 용이하면서도 양질의 지질정보를 효율적으로 획득하게 해준다.

Marine, shallow seismic data have been acquired and processed by newly developed multi-channel(6 channel), PC-based digital recording and processing system. The digital processing system includes pre-processing, swell-compensation filter, frequency filter, gain correction, deconvolution, stacking, migration, and plotting. The quality of processed sections is greatly enhanced in terms of signal-to-noise ratio and vertical/horizontal resolution. The multi-channel, digital recording, acquisition and processing system proved to be an economical, efficient and easy-to-use marine shallow seismic tool.

서 론

다중채널 수신기를 이용한 공심점기법(Common Depth Point method)은 탄성과 탐사기법의 혁신으로 불릴 만큼 탄성과 단면의 질을 비약적으로 향상시켰다. 따라서 구미에서는 이미 1960년대 후반에 석유탐사를 목적으로 한 대부분의 탄성과 반사법 탐사에 사용되기 시작하였다(Sheriff and Geldart, 1982). 그 후 관련 장비의 성능 개량에 힘입어 사용되는 다중채널의 수는 48, 96, 120으로 급속히 늘어나서 1000 채널에 까지 달하였다. 이와 달리

학술적 혹은 지질공학적인 목적으로 수행되는, 해저면하 수백 미터 이내의 지질 구조를 밝히는 천해저 탄성과 탐사 분야에서는 현재 대부분의 경우 여전히 단일채널 탄성과 장비에만 의존하고 있는 실정이다. 이처럼 천해저 탄성과 탐사장비가 다중채널화되지 못하는 가장 큰 이유는 다중채널 수신기 자체보다는 다중채널에 필수적인 디지털 기록장치가 워낙 고가이어서 구비하지 못하는 데 있는 듯하다.

그러나 1980년대 후반부터의 PC와 디지털 부품의 고성능, 저가격화로 인해 종래에 비해 매우 손쉽게 탄성과 기록장치를 디지털화할 수 있는 길이 열리게

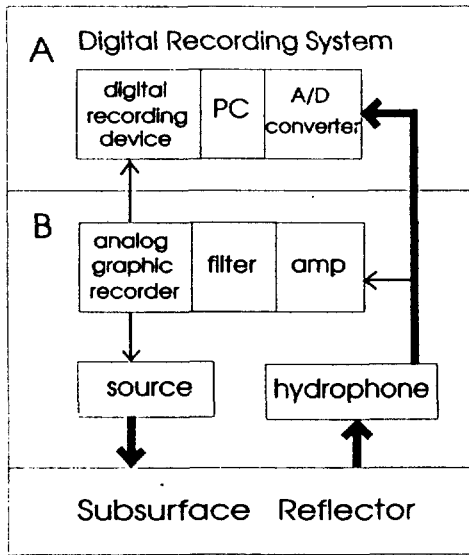


Fig. 1. Elements of the shallow seismic data acquisition system.

되어, 기존의 음원부와 수신부를 그대로 이용한 디지털 탄성과 시스템이 등장하기 시작하였다(Bays and Blasco, 1986; Knapp and Steeples, 1986; Lericolais et al., 1990; Owen and Sinha, 1990). 이·현(1991)은 한국자원연구소가 보유하고 있는 기존의 천해저 탄성과 장비와 결합하여 사용할 수 있고, 디지털 자료취득 및 처리가 가능한, PC기반의 디지털 탄성과 시스템을 개발하였다. 이렇게 개발된 시스템을 바탕으로 금번 다중채널 수신기(6채널)를 도입하여 천해저 탐사용 다중채널 디지털 탄성과 시스템의 면모를 갖추게 되었다. 이 논문에서는 이 다중채널 탄성과 시스템을 위해 구축한 일련의 자료취득 및 처리 기법과 시험항해에서 취득한 다중채널 탄성과 자료에 대한 자료처리 효과를 논하였다.

다중채널 탄성과 자료취득

1. 디지털 기록 시스템

사용된 다중채널 탄성과 장비는 Fig. 1과 같이 구성되어 있다. 즉 기존의 아날로그 탐사장비(Fig. 1의 B부분)에 디지털 기록시스템(A부분)이 결합된 형태이다. 아날로그 탐사장비는 음원부(에어건 등), 수신부(hydrophone streamer), 그리고 기록부로 구

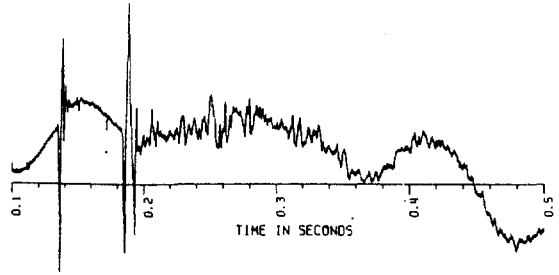


Fig. 2. The first 0.5 seconds of a near trace extracted from a typical marine shot file (raw data).

성되어있으며, 기록부는 증폭기와 필터, 그리고 기록계(기록지식 아날로그 graphic recorder)로 구성된다. 기록계는 기록지에 입력 트레이스를 기록하고 발파 신호(triggering signal)를 출력한다. 탄성과 트레이스는 그 특성상 시간에 따른 진폭 변화가 크므로 이를 기록하는데 있어 아날로그 기록계로는 역부족이다. 음원에서 발사된 에너지는 走時의 증가와 함께 급속히 감쇠되므로 탄성과 트레이스 내의 가장 강한 신호와 가장 미약한 신호와의 진폭비는 일반적으로 100,000:1 내지 10,000:1에 달하며, 최대최소 신호의 強度比를 나타내는 다이내믹 레인지는 100 내지 80 dB이나 된다(Hatton et al., 1986). 반면 아날로그 기록매체는 이와 같은 큰 다이내믹 레인지를 가지지 못한다. 아날로그 자기 테이프 조차 100:1의 최대최소 진폭비(40 dB)밖에 가지지 못한다. 따라서 신호의 왜곡없이 트레이스를 기록할 수 없다. 또 원시 트레이스의 한 예인 Fig. 2에서 보는 것처럼 미약한 반사 신호가 지하 및 관측장비내에서의 전파 및 전달과정에서 첨가된 큰 진폭의 잡음속에 섞여 있을 수도 있다. 얻고자 하는 지질정보의 상당부분이 이런 미약한 신호에 포함되어 있으므로 기록 과정에서 귀중한 정보를 잃어버릴 수 있다. 더구나 천해저 탐사에 일반적으로 쓰는 기록계(graphic recorder)는 기록지 위의 직선 하나(최대최소 진폭비 2:1)에 트레이스를 표현해야 하므로 아날로그 필터와 이득 조절에 대한 고도의 숙련이 없이는 반사신호를 제대로 잡기 힘들리라는 것을 짐작할 수 있다.

디지털 탄성과 시스템은 이와 같은 기록의 문제를 해결해 준다. 이 논문에서 사용한 디지털 기록 시스템은 4096:1(72 dB)의 범위를 가지므로 거의 왜

복잡한 신호의 재생이 가능하다. 따라서 수신기를 Fig. 1과 같이 이 디지털 시스템에 연결하는 것만으로 원시 형태로의 재생이 언제나 가능한 탄성과 트레이스가 기록 보존된다. 힘든 필터와 이득의 조정작업이 필요없게 된 자료취득작업의 용이성은 친해져 디지털 시스템의 중요한 장점이라 할 수 있다.

디지털 탄성과 시스템은 Fig. 1에 보이는 것처럼 A/D(analog/digital)변환기, PC(80486 IBM호환기종), 디지털 기록장치, 그리고 운영 소프트웨어로 구성된다. PC상에서 구동되는 운영 소프트웨어(KDAS1; 이·현, 1991)는 A/D변환기에서 건네받은 자료를 적절히 편집하여 디지털 기록장치에 기록하고 PC 모니터상에 그래픽으로 출력하는 역할을 한다. A/D변환기(DT2821-G-8DI)는 수신기에서 입력된 아날로그 전기신호를 12비트의 정수로 변환해서 PC에 출력한다. 변환속도는 최대 초당 250,000개이므로 최대 입력채널수인 8채널을 동시 변환할 경우 채널당 최대 31,250개이며 이때 샘플간 간격은 0.032 msec가 된다. 그러나 실제 운영시의 변환속도는 이보다 약간 떨어진다. 12비트 길이의 변환으로 실현되는 72 dB의 다이내믹 레인지는 입력신호에 따라 충분하지 못할 경우가 있다. 이 때는 A/D변환기로 입력되기 전 신호가 아날로그 증폭기나 필터를 거치게 함으로써 에일리어싱(aliasing)이나 신호의 포화를 방지할 수 있다. 디지털 기록장치로는 광자기 디스크를 사용하는데 대용량의 자료를 빠른 속도로 기록한다. 광자기 카트리지 한 장당 1.3GB의 원시 탄성과 자료를 기록할 수 있다. 디지털 기록장치의 기록속도는 전체 탄성과 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 기능이다. 이·현(1991)에서 디지털 탄성과 시스템의 더욱 자세한 사항을 참조할 수 있다.

2. 다중채널 수신

탄성과 반사법의 발전사에서 공심점기법(중합법)만큼 중요한 영향을 미친 것은 없다(Lindseth, 1982). 공심점 기법의 원리는 매우 간단하다. 같은 지점에 대해 음원-수진기 간격만을 약간씩 달리하며 여러 차례 관측한 뒤 이들을 보정하고 합해서 평균을 구하는 것이다. 이 기법이 성공한 이유는 신호와 동일한 주파수를 가진 잡음을 분리 제거할 수 있는 가장 강력한 방법을 제공했다는 데 있다. 이 기법에

의해 가장 효과적으로 제거되는 잡음은 불규칙 잡음(random noise)이지만 다중반사와 같은 주기적인 잡음에도 효과가 있다.

금번 사용한 다중채널 수신기는 벤토스사에 주문 제작한 6채널 천해저용 하이드로폰 스트리머(BENTHOS MESH 150/30P/6CH)로서 감응구간(active section)의 길이가 30m에 불과해서 취급의 용이성에 있어서 단일채널 수신기와 크게 차이가 나지 않았다. 각 채널의 길이는 5 m, 채널당 소자의 수는 25개이다.

자료취득은 1993년 2월 한국자원연구소의 탐해호(170톤)를 이용하여 포항 장기곶 5 km 동쪽 해역에서 수행되었다. 자료취득시는 선속을 4.9노트 내외로 유지하고 10입방인치의 에어건을 1초 간격으로 발파하여 발파점 간격을 2.5m로 만들어 6중합이 되게 하거나, 30입방인치의 에어건을 2초 간격으로 발파하여 발파점 간격을 5m로 만들어 3중합이 되게 하였다. 선속 5노트에서 스트리머의 심도는 약 2~3 m, 최소 음원-수진기 간격은 약 25 m이었다. 음원으로는 주로 체임버 크기 10 및 30입방인치의 소형 에어건을 사용하여 시험하였으며 경유사용 자동드레인 공랭식의 공기압축기 한 대로 약 1000 psi의 압축 공기를 공급하였다. 이 논문에서 제시된 자료는 자료취득시 발파간격을 1초로 하고 0.4초 기록한 것으로서 샘플간 간격은 0.4 msec이었으므로 한 트레이스는 1,000개의 샘플로 구성되어있다.

탄성과 자료의 전산처리

탄성과 트레이스는 신호와 잡음의 합으로 볼 수 있다. 탄성과 트레이스에서 잡음을 제거하는 일련의 과정이 자료처리 과정이다. 이 논문에서는 가장 일반적으로 알려진 자료처리 기법들을 전산 코드화하여 PC(80486 DX2-66, 16MB 메모리)환경에서 전산 처리하였다. 이 처리기법들은 1970년대에 이미 확립된 것으로서 탄성과 자료처리 교과서(예를 들어 Robinson and Silvia, 1979; Claerbout, 1985; Yilmaz, 1987; Clay, 1990)에 자세한 원리가 실려있으므로 누구나 만들어 쓸 수 있는 것들이다. 자료처리 과정은 전처리, 주파수필터링, 이득회수, 디콘볼루션, 너울효과보정, 중합, 구조보정, 단면도 작성등으로 구성되어 있다. 각 단계마다 자료에 맞는 최적 매

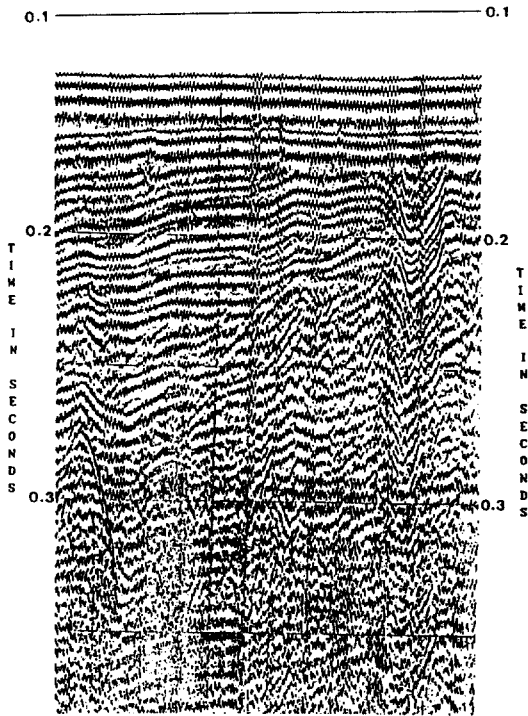


Fig. 3. Seismic section of an analog graphic recorder.

개변수를 찾아 적용해 나감으로써 종합적으로는 높은 처리효과를 거둘 수 있다. 여기에서는 한 개의 단면(1200발과점)을 택하여 매 단계마다 간단한 처리내용과 함께 잡음이 제거되어가는 중간결과를 제시하고자 한다. 비교를 위하여 Fig. 3에 야외에서 아날로그 기록계에 의해 기록된 동일한 부분의 단면을 제시하였다.

1. 전처리

취득된 원시 자료는 기록속도를 우선으로 하는 양식으로 기록되어 있으므로 이를 자료처리에 알맞는 양식으로 고치고(demultiplexing), 결락된 부분이나 잡음이 많은 트레이스가 있으면 전체적인 자료처리에 나쁜 영향을 미치지 않게 적절히 수정 편집하여야 한다. Fig. 4에서 보듯이 트레이스 앞부분의, 해저면 보다 앞은 부분에 나타나는 직접파나 굴절파 혹은 잡음을 제거하여 이후의 처리에 영향을 미치지 않게 뮤팅(muting)을 한다. 또한 뮤팅은 필터링 전후로 해서 발생된 고주파의 잡음 등을 제거할 때에도 사용되며 NMO보정 후의 파형의 이완이

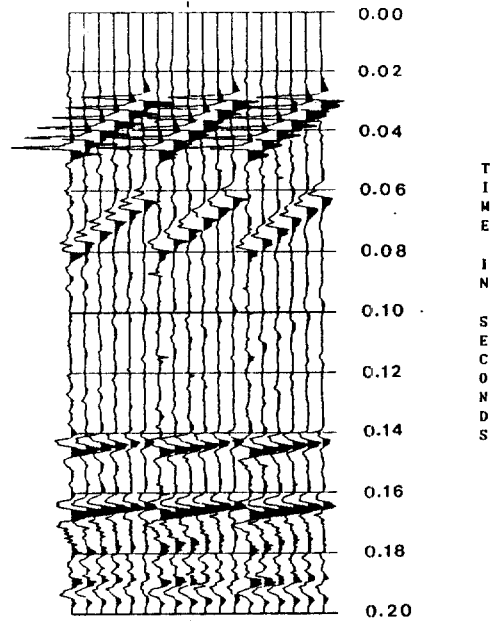


Fig. 4. Low-cut filtered traces of three consecutive shot gathers showing direct wave and water bottom reflections.

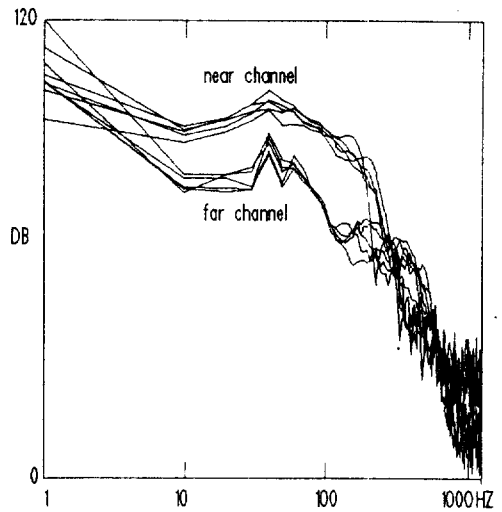


Fig. 5. The power spectrum of 10 raw traces.

심하게 나타나는 부분을 제거할 때에도 사용된다. 전처리에는 이 밖에도 에어건 지연보정이 있다. 에어건은 기계적인 반응에 의해 압축공기를 방출하기 때문에 실제의 발파는 발파신호의 전달시각 보다 약간 늦게 일어난다. 시험항해에서는 10입방인치

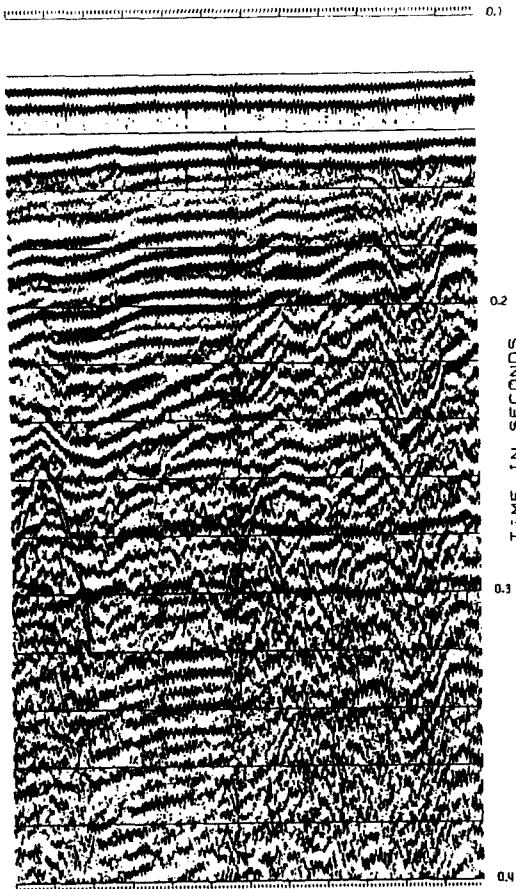


Fig. 6. Shallow seismic section of low-cut filtered raw data (near channel).

에어건의 경우 약 15 msec의 지연이 있었다. 따라서 모든 트레이스의 앞부분에서 지연시간분 만큼의 자료를 제거하였다.

2. 주파수 필터링

신호와 잡음의 주파수가 다를 경우 주파수 필터링에 의해 간단히 잡음을 제거할 수 있다. 잡음의 주파수를 추정하기 위해서는 트레이스의 스펙트럼(Fig. 5)을 분석할 필요가 있다. 시험항해의 자료는 스트리머의 요동과 관련된 것으로 짐작되는 10 Hz 미만의 강한 저주파 잡음이 실려있다(Fig. 5). 모서리 주파수가 10-60-366-610 Hz인 帶域통과필터를 시행한 단면이 Fig. 6이다.

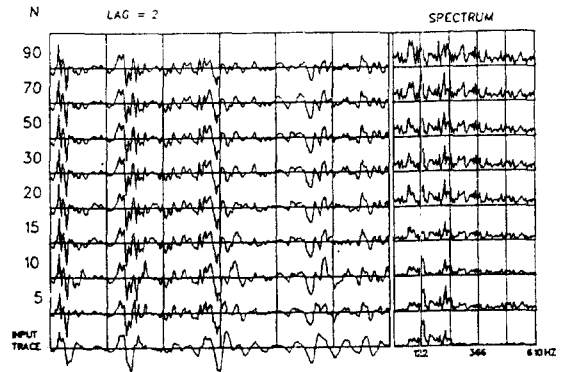


Fig. 7. The panel of deconvolution parameter test. N and LAG stand for operator length and prediction lag in sample number, respectively.

3. 이득회수

에너지의 급격한 손실로 인하여 탄성과 트레이스는 주시의 증가와 더불어 진폭이 급격히 감소한다. 이것은 스케일의 문제이므로 주시에 따라 적절히 스케일을 변화시켜주면 보상된다. 여기에서는 일종의 자동이득회수법을 사용하였는데 일정 길이의 윈도우를 이동시키면서 평균값이 동일해지게 조정하는 방법이다. 트레이스의 반사신호가 없는 부분의 잡음이 증폭되는 것을 막기 위해 일정 기준 진폭 이상의 값에만 적용되게 하였다. 창 의 길이는 트레이스 길이의 1/8 정도로 하여 적용하였다.

4. 디콘볼루션

음원에서 발생한 탄성파가 지구 내부로 전파될 때 밀도 및 속도가 각기 다른 암석층들을 통과하게 된다. 밀도 및 속도가 다른 암석층들의 경계면에서 탄성파에너지의 일부는 반사되어 지표로 되돌아와 지표상의 기록계에 반사파 트레이스로서 기록된다. 이 때 음원에서 발생한 탄성파를 기본파형요소(basic wavelet)로 보면, 기록된 반사파 트레이스는 지하의 경계면의 반사계수열과 기본파형요소와의 콘볼루션 연산으로 나타낼 수 있다. 그러나 지하 지질은 일반적으로 다수의 얇은 지층으로 구성되어 있으므로 기본파형요소는 서로 중첩되어 나타나게 되어 기록된 트레이스 그대로는 지층의 상세한 경계면을 판별하기 힘들다. 따라서 지하구조를 정밀한 상으로

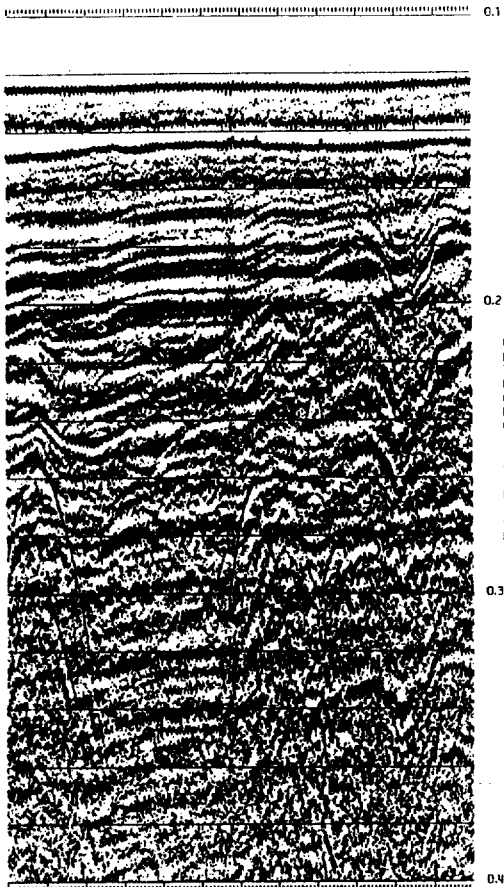


Fig. 8. Shallow seismic section after frequency filtering, gain recovery, and deconvolution (near channel).

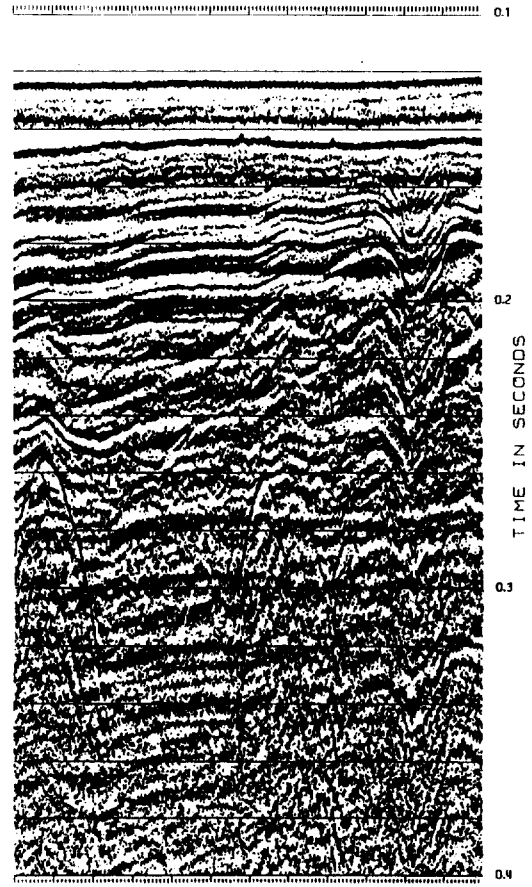


Fig. 9. Shallow seismic section after swell-compensation.

나타내기 위해서 수행하는 것이 디콘볼루션 기법이다. 디콘볼루션은 기본파형요소를 압축하고 주기적인 성분을 제거함으로써 일부 다중반사 잡음을 억제하여 결과적으로 탄성과 단면도의 수직방향 해상도를 증대시킨다.

디콘볼루션의 결과는 미리 주어지는 디콘볼루션 필터 설계를 위한 몇가지 매개변수(필터 길이, 예측지연의 길이, prewhitening값 등)에 크게 좌우된다. 따라서 Fig. 7과 같은 시험을 통해서 가장 적합한 매개변수를 선정한 뒤 처리하였다. Fig. 7의 예에서는 임의의 트레이스에 대해 예측지연의 길이를 2점으로 하고 디콘볼루션의 필터 길이(샘플 수)를 여러가지로 바꾸었을 때의 디콘볼루션 결과를 보여준다. 원시 자료에 전처리, 주파수 필터링, 이득회수, 및 디콘

볼루션처리를 가한 뒤의 단면을 Fig. 8에서 볼 수 있다(디콘볼루션 필터길이 8 msec, 예측지연 1, prewhitening값 1%를 적용). 이득회수에 의해 아랫부분 신호의 진폭이 증가하고, 디콘볼루션에 의해 수직방향의 해상도가 증가한 것을 알 수 있다.

5. 너울 효과 보정

시험항해의 자료에는 자료취득시 바다 날씨가 나뻐던 탓으로 너울(swell)효과가 기록에 가미되었다. 이것은 단면의 구조를 왜곡시키고 있으므로 제거되어야 한다. 너울 효과는 파장 60 m 내외로서 평탄한 해저지형과 뚜렷이 구분되는 주기를 가짐으로 이동 평균법을 이용하여 보정하였다(Fig. 9). 보정에 의해 단면도 중앙 0.14초 부근의 돌출한 지형이 뚜렷이 드러나게 되었고 지층의 연속성도 향상되었다. 너울

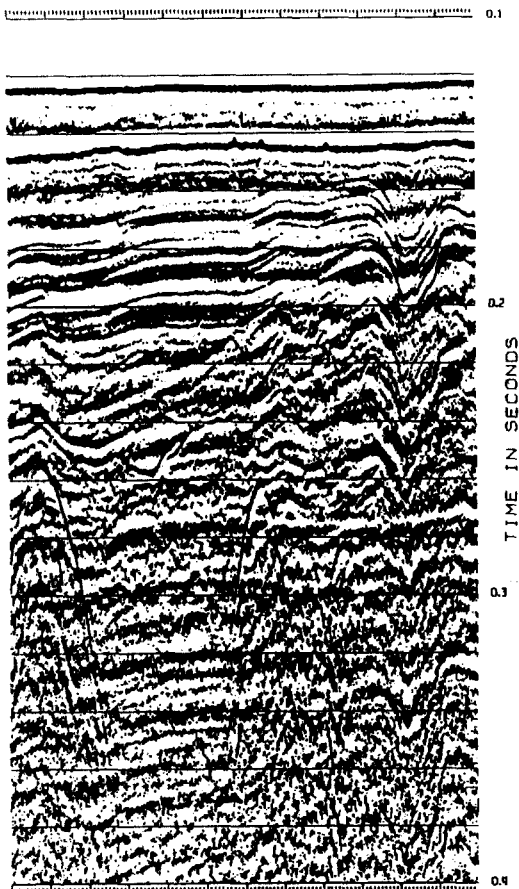


Fig. 10. Shallow seismic section after stacking.

효과 보정은 전처리 단계에서도 가능하지만 여기에서는 해지면 인식의 정확성 때문에 디콘볼루션 이후에 시행하였다.

6. 중합

중합처리를 위하여는 몇가지 연관된 단계를 거쳐야 한다.

(1) 공심점취합(CDP gathering): 발파점 gather에서 공심점 gather로 자료를 취합하는 작업이다. 이때 발파점 간격이 채널간격 5m의 반에 해당하는 2.5m일 경우 각 공심점 gather는 6개의 트레이스로 구성되며, 발파점 간격이 5m일 경우 3개의 트레이스로 구성된다.

(2) 속도분석: 다음 단계인 NMO보정을 하려면 지하의 속도구조에 대한 정보가 필요하며 다중채널

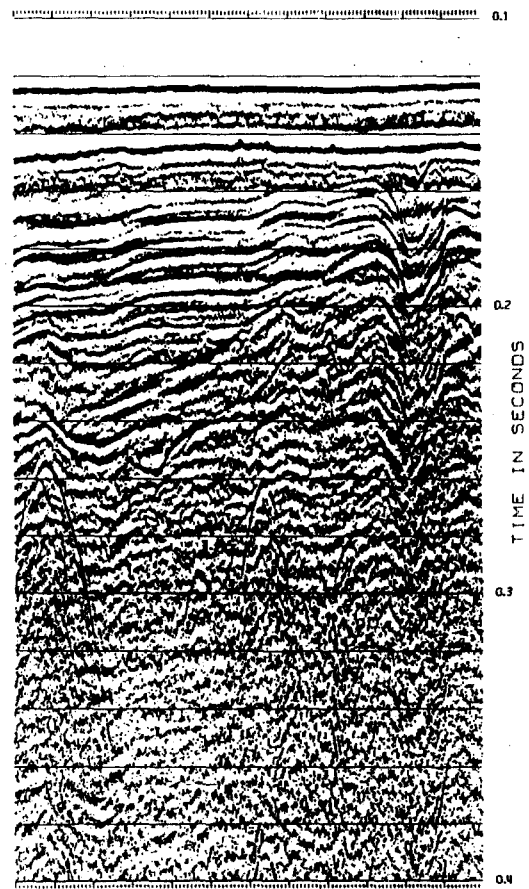


Fig. 11. Shallow seismic section of Fig. 10 after deconvolution.

시스템 자료로써 속도정보를 구할 수 있다. 속도분석을 하였으나 예상했던 대로 짧은 채널 간격과 적은 중합수로 인해 의미 있는 결과를 얻지 못하였으므로 여기에서는 시험항해 지역 부근의 굴절법 자료(이호영등, 1992)에서 추정된 속도를 사용하였다.

(3) NMO 보정: 공심점 record의 모든 트레이스를 음원-수진기 간격이 영일 때의 자료(zero offset)인 것 처럼 만들어서 중합할 수 있게 만드는 것이 NMO(normal moveout)보정이다.

(4) 중합: NMO보정된 공심점 gather 내의 모든 트레이스를 합하는 과정이다. 각 채널이 조금씩 특성이 다른 경우에 대비해서 채널별로 정규화한 뒤 중합하였다. Fig. 9의 단면자료에 대한 중합 결과가 Fig. 10이다. 6중합에 의하여 잡음이 줄어들어 반사

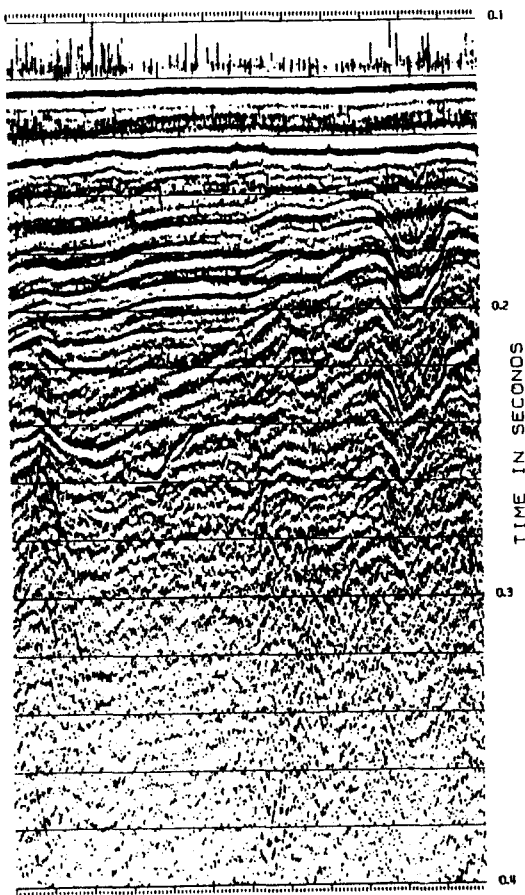


Fig. 12. Shallow seismic section after $f-k$ migration.

면의 연속성이 좋아진 것을 알 수 있다.

(5) 중합후 디콘볼루션: 중합단면에 대해 예측지연 디콘볼루션을 시행하여 다중반사 잡음을 어느 정도 감소시킬 수 있다. 중합단면의 자기상관함수를 참조하여 예측지연과 디콘볼루션 필터길이 등의 매개변수를 구한다. Fig. 11은 예측지연 100 msec, 필터길이 100 msec의 디콘볼루션 및 저역통과필터를 시행한 출력단면이다. 0.27초 이하에 보이던 다중반사 에너지가 많이 감소된 것을 확인할 수 있다.

7. 구조보정

경사층이 존재하는 모든 탄성과 단면은 왜곡된 구조를 가진다. 이러한 왜곡을 교정하는 처리가 구조보정이다. 구조보정은 2차원 자료공간에서 에너지를 이동시킴으로써 파동의 전파과정에서 생긴 왜곡을 보정하는 기법이다. 이 보정에 의해 회절에너지는 회절源으로 모이게 되므로 초점을 맞추는 효과에 의해 수평방향의 해상도가 향상된다. 여기에서 사용된 기법은 주파수-파수 구조보정($f-k$ migration; Stolt, 1978)이다. 구조보정은 복잡한 연산을 포함하므로 막대한 계산시간이 소요된다. PC의 연산능력으로는 구조보정 중 가장 계산속도가 빠른 주파수-파수 구조보정이 유일한 선택이 될 수 밖에 없다. 이 기법은 또 잡음에 강하고 급경사면에 대해서도 수평해상도 향상이 좋다는 장점이 있다. 단지 수직 및 수평방향으로 단일 속도를 사용하여야 한다는 것이 이 기법의 단점이지만 천해저 탐사에서는 어느 정도 용인될 수 있는 제약이다.

중합 단면(Fig. 11)을 속도 3000 m/s를 사용하여 구조보정한 것이 Fig. 12이다. 두 단면을 비교해 보면 중합 단면의 0.26초 이하의 쌍곡선 모양 회절 에너지들이 구조보정 단면 Fig. 12에서는 적절한 위치에 이동되어 있음을 확인할 수 있다.

8. 탄성과 단면도 작성

전산처리된 수치자료는 그림(아날로그)으로 변환되지 않으면 해석할 수 없다. 정보가 손실되지 않기 위해서는 도형출력장치의 해상도가 높아야하며 자료에 적합한 방법으로 그려져야 한다 (Hatton et al., 1986). PC의 보급 덕분에 고가의 정전플로터가 아니어도 얼마든지 고해상도의 단면도를 만들 수 있게 되었다. 이 논문의 단면도는 24핀 도트프린터(180 dpi)와 잉크젯프린터(360dpi)로 출력된 것이다.

결 론

1. 일련의 자료처리과정을 거친 디지털 다중채널 출력단면(Fig. 11과 12)은 아날로그 기록(Fig. 3)에 비해 다중반사를 포함한 여러 잡음이 제거 혹은 억제되고 신호는 강화되었다. 이러한 개선은 1) 다이내믹 레인지가 큰 디지털 기록 시스템, 2) 다중채널 수신기에 의한 자료취득, 그리고 3) 자료 전산처리의 세가지 요인의 종합적인 효과이다.

2. 자료처리에 의해 탄성과 단면의 해상도는 증가되었다. 디콘볼루션에 의해 수직 해상도가, 너울효과보정과 구조보정에 의해 수평해상도가 증가됨으로 해서 천해저 탄성파탐사가 목표로 하는 높은

해상도의 단면이 얻어졌다.

3. 종래의 아날로그 탄성과 장비에 결합하여 사용하는 천해저 다중채널 디지털 탄성과 시스템과 자료처리 소프트웨어는 경제성이 높고, 아날로그 시스템에 비해 현장작업이 용이하면서도 양질의 지질정보를 효율적으로 획득하게 해준다.

사 사

이 연구는 1993년 10월 작고하신 한국자원연구소 해저자원부 김철민박사님의 제안과 주선에 의하여 가능하게 되었다. 시험항해에서의 자료취득은 한국자원연구소 탐해호 소속 직원 여러분과 해저자원부의 김정기씨, 김상우씨의 도움을 받아 수행되었다. 깊이 감사 드린다. 이 연구의 일부는 부산수산대학교 해양산업개발연구소의 지원(94-01-02-01)에 의하여 수행되었다.

참고문헌

- 이호영, 현병구, 1991. 마이크로 컴퓨터를 이용한 천해저 고해상 반사법 탄성과 탐사자료의 취득 및 처리에 관한 연구. 한국자원공학회지, 28: 497-511.
 이호영, 김철민, 김원식, 조철현, 1992. 디지털기법을 이용한 천해저 굴절법 탄성과 탐사자료의 취득과 해석.

- 한국해양학회지, 27: 19-34.
 Bays, A. R. and S. Blasco, 1986. A new high-resolution digital marine acquisition system. *The Leading Edge*, 5: 51-54.
 Claerbout, J. F., 1985. *Imaging the Earth's Interior*. Blackwell Sci. Publ., 398pp.
 Clay, C. S., 1990. *Elementary Exploration Seismology*. Prentice Hall, 346pp.
 Hatton, L., M. H. Worthington, and J. Makin, 1986. *Seismic Data Processing-Theory and Practice*. Blackwell Sci. Publ., 100-104.
 Knapp, R. W. and D. W. Steeples, 1986. High-resolution common-depth-point reflection profiling: field acquisition parameter design. *Geophysics*, 51: 283-294.
 Lericolais, G., J. P. Alleno, S. Berne, and P. Morvan, 1990. A new system for acquisition and processing of very high-resolution seismic reflection data. *Geophysics*, 55: 1036-1046.
 Lindseth, R. O., 1982. *Digital Processing of Geophysical Data: a Review*. Soc. Expl. Geoph.
 Owen, T. R. E. and M. C. Sinha, 1990. A PC-based seismic acquisition system. *First Break*, 8: 57-62.
 Robinson, E. A. and M. T. Silvia, 1979. *Digital Foundations of Time Series Analysis: Vol. I The Box-Jenkins Approach*. Holden-Day Inc., 455pp.
 Sheriff, R. E. and L. P. Geldart, 1982. *Exploration Seismology: History, Theory, and Data Acquisition*. Cambridge Univ. Press, 253pp.
 Stolt, R. H., 1978. Migration by Fourier Transform. *Geophysics*, 43: 23-48.
 Yilmaz, O., 1987. *Seismic Data Processing*. Soc. Expl. Geoph., 526pp.

Accepted March 17, 1995