

탄성과 자료 역산을 통한 황해 2광구 지역의 의속도 단면도의 작성

Generation of Pseudovelocity Section of Block II in the Yellow Sea by Seismogram Inversion

권병두 (Byung-Doo Kwon)* · 정유정 (Yu-Jeong Jeong)* · 양수영 (Su-Yeong Yang)**

요 약

탄성과 트레이스 자료로부터 지구내부의 속도구조를 추정해내는 과정을 속도역산이라고 한다. 그러나 탄성과 트레이스 자료가 담고 있는 정보의 주파수 대역은 제한되어 있으므로, 이것으로부터 광대역의 반사계수 수열을 구해내는 것은 쉽지가 않다. 본 연구에서는 선형 프로그래밍 처리기법을 이용하여 탄성과 트레이스의 진폭과 속도분석 자료를 적절히 결합함으로써 각 자료와 동일한 주파수 성분을 갖는 가장 단순한 형태의 속도구조를 구하고, 이것을 의속도 단면도로 도시하였다. 먼저 가상으로 설정한 모델로부터 프로그램의 효용성을 검증해 보았고 이를 토대로 우리나라 황해 제 2광구의 반사법 탄성과 자료에 적용하였다. 그리고 의속도 단면도와 이 지역에 위치한 시추공의 해석결과를 연관시켜 분석함으로써 백악기 화산암과 백악기 변성화산암의 경계를 구분하고 암상을 결정할 수 있었다.

주요어 : 속도역산, 선형프로그래밍 처리기법, 의속도 단면도

Abstract : Seismic reflection data can be used to extract information about the velocity structure of the earth. This process is called a velocity inversion of the seismic data. However, it is difficult to recover a broad band reflection coefficient series because the frequency band of seismic trace is limited. The linear programming method has been examined to find the simplest velocity model that has frequency components consistent with the usable frequencies of the seismic trace and interval velocity data. The velocity structure of the earth is displayed in pseudovelocity section. After the linear program had been tested with a synthetic seismic trace, it was applied to the seismic reflection data of the Block II in the Yellow Sea. By comparing the pseudovelocity section with sonic logs obtained from the well in the same area, it was possible to define the lithostratigraphy and the boundaries of Cretaceous volcanics and Cretaceous metavolcanics.

Key Words : velocity inversion, linear programming method, pseudovelocity section

서 론

반사법 탄성과 탐사의 기본 목적은 탄성과 자료로부터 지하의 속도분포를 구해서 층서 및 지질구조를 해석하는 데 있다. 반사법 탄성과 탐사자료가 제공하는 두 가지의 정보는 탄성과 트레이스의 진폭과 rms속도(root mean square velocity, V_{rms})이다. 그러나, 이것들은 각각 속도함수에 대한 일부분의 정보만을 담고있다. 즉 V_{rms} 는 지구내부구조의 저주파수 정보에 해당되는 전반적인 경향을 보여주며, 트레이스 자료는 고주파수의 좀 더 세부적인 정보를 제공해준다.

이 두 자료를 적절히 결합하면 지구내부의 속도구조를 추정할 수 있는데, 이것을 의속도 단면도(擬速度 斷面圖, pseudovelocity section)라고 한다. 그리고 이러한 단면을 구하기 위한 일련의 처리과정을 탄성과 자료의 속도역산이라고 한다.

이러한 의속도 단면도는 기존의 탄성과 트레이스 자료보다 암상이나 공극률의 변화 등 지층의 여러 특성을 보다 잘 나타내주기 때문에, 층서 트랩을 대상으로 하는 석유탐사에 특히 유용하다. 만약 탐사 지역 내에 시추공이 있어 의속도 단면도 작성시 시추자료가 이용될 수 있다면, 시추에서 확인된 암상은 전 탐사 지역에 대하여 외삽될 수 있다.

그러나, 지구내부가 각기 균질한 물질로 이루어진 수평층으로 구성되어 있다하더라도 의속도 단면도를 정확히 구해내는 것은 쉽지가 않다. 이것은 탄성과 트레이스 자료가 제공하는 속도 정보의 주파수 대역과 V_{rms} 자료의 주파수 대역 사이의 누락된 부분 때문이다. 따라서, 의속도 단면도를 구하는데 있어서 가장 중요한 문제는 이 누락된 부분의 속도 정보를 정확히 복구해내는 것이다.

Oldenburg *et al.*(1983)은 탄성과 트레이스 스펙트럼의 누락된 부분을 추정해내는 두 가지 방법을 제안했는데, 첫번째는 자동회귀법(auto-regressive method)으로 파형요소와 연관된

*서울대학교 사범대학 지구과학교육과
**한국석유개발공사 기술실

주파수 대역의 자료들의 통계적인 관계로부터 측정되지 않은 스펙트럼의 진폭을 추정해내는 방법이다. 두번째는 선형프로그래밍 처리기법(linear programming process)으로, 탄성과 트레이스 자료와 V_{rms} 자료로부터 광대역의 반사계수 수열을 구해낸다.

이 연구에서는 선형프로그래밍 기법에 V_{rms} 자료를 사용한 Oidenburg *et al.*(1984)의 방법을 기본으로 한 Smith(1989)의 알고리즘을 이용하여 광대역 반사계수 수열을 구하고, 이로부터 의속도 단면도를 작성하였다. 이 프로그램을 검증하기 위하여 먼저 가상으로 설정한 속도구조 모델로부터 합성 탄성과 트레이스를 구하여 그 결과를 검토하였으며, 이를 토대로 황해 대륙붕 제 2광구 반사법 탐사 자료의 의속도 단면도를 작성하였다.

이론적 배경

속도역산의 기본이론 및 가정

탄성과 트레이스 $x(t)$ 는 반사함수 $r(t)$ 와 에너지원 파형요소 $w(t)$ 와의 컨볼루션으로 표현된다.

$$x(t) = r(t) * w(t) \tag{1}$$

탄성과 트레이스 $x(t)$ 가 식 (1)과 같이 나타내어 진다는 것은 탄성과 탐사자료의 처리과정 즉, 이득함수의 적용, 다중반사파와 회절현상의 제거로 반사계수와 밀접하게 연관되었다는 것을 의미한다.

한편, 지구내부가 균질한 물질로 이루어진 수평층으로 이루어졌다고 가정하면, 이 층들은 일정한 왕복주기의 함수로 샘플링된 반사함수 $r(t)$ 로 나타내어질 수 있다. 반사함수는 반사계수, RC_i 의 수열로 다음과 같이 표현된다.

$$r(t) = \sum_{i=1}^N RC_i \delta(t - \tau_i) \tag{2}$$

$\delta(t)$: 디랙델타함수(Dirac delta function)

τ_i : 왕복주기

이때, i 번째 층에서의 반사계수 RC_i 와 음파 임피던스와의 관계는 다음과 같다.

$$\rho_{i+1}V_{i+1} = \rho_i V_i \frac{1 + RC_i}{1 - RC_i} \tag{3}$$

그러므로 식 (3)에 의해 RC_i 로부터 음파 임피던스 함수가 구해지게 된다. 그림 1은 이 속도역산의 과정을 도식화한 것이다.

그러나 $x(t)$ 는 에너지원 파형요소의 주파수 대역 밖에서는 반사계수에 대한 정보를 갖고있지 않으므로, $x(t)$ 로부터 광대역의 $r(t)$ 를 복구하는 것은 불가능하다. 그러므로, 대역 필터링된 반사계수를 근사적으로 나타내는 함수를 구해내게 되는데, 이것은 탄성과 트레이스를 에너지원 파형요소로 디컨볼루션하여 얻어진다. 그런 다음 식 (3)을 통해 제한된 주파수대역의 음파 임피던스 함수를 구하게 된다.

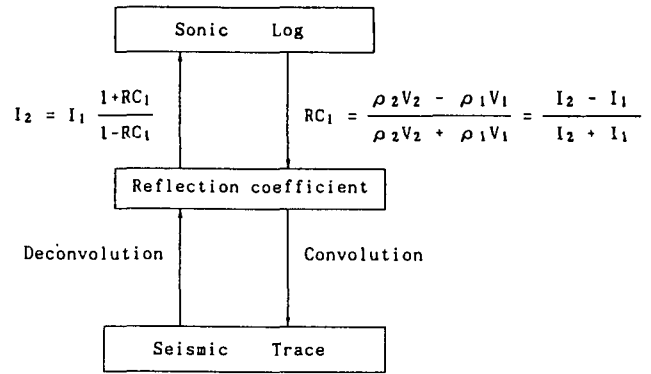


Fig. 1. Relationship between seismic trace and sonic log.

속도역산 과정은 속도와 밀도에 대한 정보를 모두 필요로 하는데, 탄성과 자료는 이 두 가지를 분리된 형태로 담고 있지 않으므로, 둘을 분리하기 위해서는 일반적으로 속도와 밀도 사이의 실험적 관계식을 이용한다. 이 연구에서는 해양 탄성과 자료의 속도 역산에 주로 사용되는 Gardner *et al.*(1974)의 관계식을 사용하였다.

$$\rho = 0.23 v^{0.25} \tag{4}$$

이 식을 식 (3)에 대입함으로써, 반사계수 수열로부터 직접 속도를 구해낼 수 있다.

속도역산 과정에서 필요한 지구 내부구조의 저주파수 성분은 탄성과 자료의 속도분석 자료를 통하여 구해질 수 있다. 일반적으로 속도분석 자료는 주요한 반사면을 나타내도록 상대적으로 큰 시간간격으로 샘플링되기 때문에 고분해능의 속도함수를 구할 수는 없다. V_{rms} 를 계산하기 위하여 선정된 각 반사면 사이의 최소왕복주기가 Δt 라면, 사용가능한 주파수대역의 최고 주파수는 다음과 같이 주어진다.

$$f_{max} = 1/2\Delta t \tag{5}$$

일반적으로 f_{max} 를 나이퀴스트 주파수(Nyquist frequency)라고 하고, Δt 는 보통 100 ms 보다 크므로 그때 f_{max} 는 5 Hz 정도가 된다.

구간속도는 V_{rms} 자료에 Dix의 식(1955)을 적용함으로써 구할 수 있다.

선형프로그래밍의 기본 이론

선형프로그래밍은 어떤 함수를 선형 제약조건을 만족시키도록 하면서 최대화시키는 수학적 기법이다. 최대화 시키고자 하는 함수를 목적함수라고 한다. 선형프로그래밍 기법을 속도역산에 적용할 때 가장 중요한 것은 적절한 목적함수와 제약조건의 설정이다. 선형프로그래밍은 최소구조를 갖는 스파이스 스파이크 트레이스(sparse-spike trace)를 구하게 되는데, 최소구조의 척도로는 L_1 -노름(norm)을 사용한다. x_n 이 n 번째 샘플에서의 트레이스의 진폭이고, N 을 샘플의 총 개수라고 했을 때, L_1 -노름은 다음과 같다.

$$\|x\|_1 = \sum_{n=0}^{N-1} |x_n| \quad (6)$$

트레이스의 구조는 이것으로부터 구해진 속도함수의 구조와 직접 연관되므로 트레이스가 최소구조를 갖도록 스파이스 스파이크 트레이스를 선택한 것이다. 식 (6)이 최소화시키고자 하는 목적함수이다.

제약조건식은 주파수 영역에서 만들어지는데 반사계수 수열의 푸리에 급수에 시스템에 존재하는 잡음의 영향을 고려한 인자(factor)를 가감한 형태로 주어진다.

$$\begin{aligned} \text{Re}[X_j] + \epsilon &\geq \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cos\left(\frac{2\pi jn}{N}\right) \\ \text{Im}[X_j] + \epsilon &\leq \sum_{n=0}^{N-1} x_n \sin\left(\frac{2\pi jn}{N}\right) \\ \text{Re}[X_j] - \epsilon &\leq \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cos\left(\frac{2\pi jn}{N}\right) \\ \text{Im}[X_j] - \epsilon &\geq \sum_{n=0}^{N-1} x_n \sin\left(\frac{2\pi jn}{N}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

결국 각 주파수마다 4개의 제약조건식이 존재하게 되는데, 이 제약조건식의 갯수는 선형프로그램의 결과인 스파이스 스파이크 트레이스의 스파이크 수의 상한치가 된다.

선형 프로그램의 검증

컴퓨터 프로그램 : 의속도 단면도의 작성은 크게 세 단계로 나누어지는데 첫번째 단계는 전처리 과정으로, 선형프로그램에 사용되는 두 자료 즉, 탄성과 트레이스 자료와 V_{rms} 자료의 사용 가능한 주파수 대역(usable frequency content)과 잡음 정도등을 결정한다. 이 때, V_{rms} 자료는 매 공심점마다 존재하도록 내삽되고 구간속도로 변환된다. 두번째 단계는 선형프로그램 기법을 사용하여 스파이스 스파이크 트레이스를 만드는 과정으로 계산 시간이 가장 많이 소요된다. 마지막 단계는 스파이스 스파이크 단면도로부터 의속도 단면도를 구하는 과정으로, 수평적인 속도변화에 관한 제약조건(lateral velocity constraint)과 구간속도 자료로부터 구한 이득함수를 적용하게 된다.

본 연구에서는 전처리과정에서 디컨벌루션을 수행하기 위해 최소엔트로피 디컨벌루션 필터(minimum entropy deconvolution; MED)(Wiggins, 1977)를 사용하였다. 주처리과정에서 사용되는 선형프로그램은 Smith(1989)의 프로그램을 Oldenburg et al.(1983)의 이론에 따라 가중함수(weighting function)를 적용하여 사용하였다.

합성탄성과 트레이스를 이용한 프로그램의 검증 : 선형프로그램의 검증을 위해 속도구조 모델을 가상으로 설정하였다. 그림 2는 가상으로 설정한 모델로 수층을 포함해서 21개의 층으로 이루어져 있고, 층의 두께는 30~225 m범위이고 속도는 1500~4500 m/s 정도의 값을 갖는다. 리커 파형요소(Ricker, 1940, Ricker, 1944)를 에너지원 파형요소로 취하여 이 모델로부터 얻은

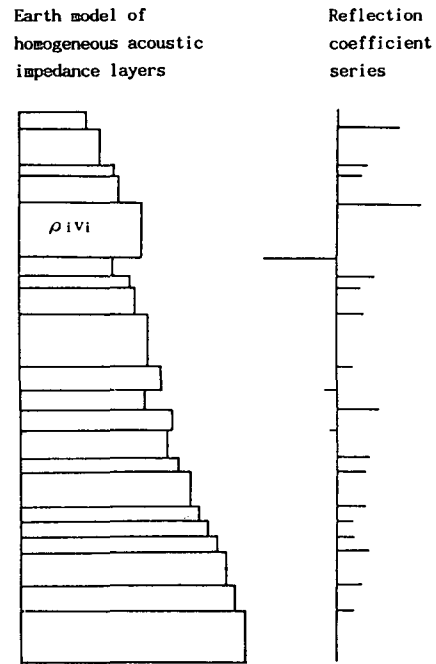


Fig. 2. Velocity structure model and reflection coefficient series used for testing the linear program.

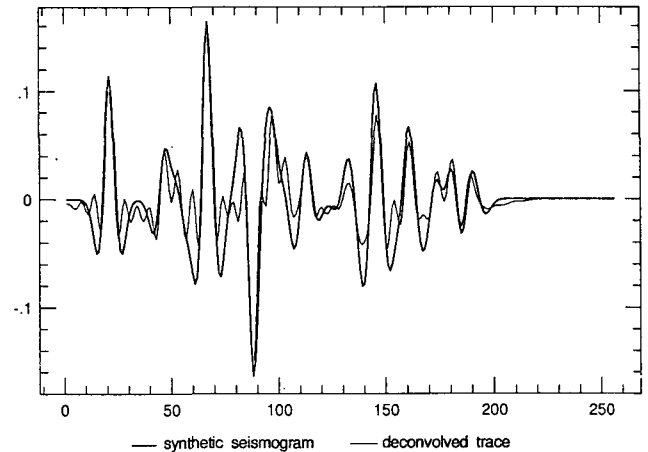


Fig. 3. Deconvolved trace by two-sided Wiener filter plotted with synthetic seismogram.

합성탄성과 트레이스에 양방향 위너 필터(two-sided Wiener filter)를 적용하여 디컨벌루션한 트레이스가 선형프로그램의 입력자료가 된다. 그림 3은 디컨벌루션 전후의 트레이스를 함께 도시한 것으로 파형이 더 뾰족한 형태가 되었음을 볼 수 있다. 선형프로그램에 사용되는 주요변수는 입력트레이스의 진폭 스펙트럼으로부터 결정된다. 그림 4의 상단은 선형프로그램의 결과로부터 구해진 속도구조를 모델의 속도구조와 함께 도시한 것이고, 하단은 입력자료의 최대진폭의 20%에 해당되는 잡음을 더해준 자료의 결과이다. 속도구조의 값의 범위나 구조양상이 모델과 잘 일치함을 볼 수 있다.

선형프로그램의 결과를 정량적으로 평가할 수 있는 유일한 방법은 진폭 스펙트럼을 비교해보는 것으로 그림 5는 설정한

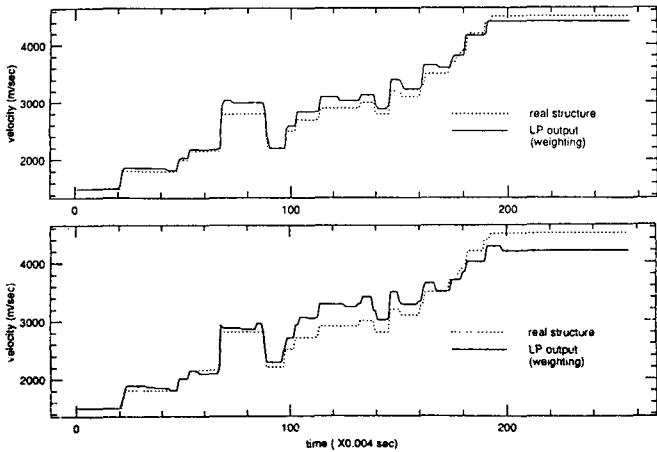


Fig. 4. Pseudovelocity trace plotted with velocities computed from reflection coefficients. Top: noise free. Bottom: 20% noise.

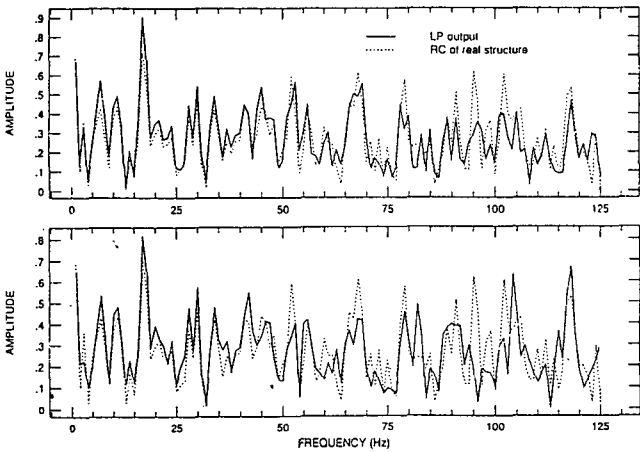


Fig. 5. Amplitude spectrum of a sparse-spike trace compared to the spectra of the reflection coefficient series of the real structure. Top: noise free. Bottom: 20% noise.

모델로부터 구한 반사 계수와 선형 프로그램의 결과인 스파이스 스파이크 트레이스의 진폭 스펙트럼을 비교해 놓은 것이다. 선택된 주파수 범위 내에서는 비교적 정확한 결과를 보이는 반면, 고주파수로 갈수록 모델의 반사계수와와의 차이가 크게 나타난다. 입력자료에 잡음이 섞인 경우에는 이같은 현상이 더 두드러지게 나타나지만, 대체적으로 유사한 양상을 보인다. 선택된 주파수 범위내에서의 두 스펙트럼의 rms오차는 잡음이 섞이지 않은 경우는 0.0082, 잡음이 섞인 경우는 0.0113으로 비교적 작은 값을 보인다. 이 값들은 실제 반사 계수의 스펙트럼의 평균 진폭에 대해 각각 2.20%, 3.03%의 오차를 유발시킬 수 있음을 의미한다.

황해 2광구 지역의 의속도 단면도 작성

탐사지역의 지질개요 및 탐사내용

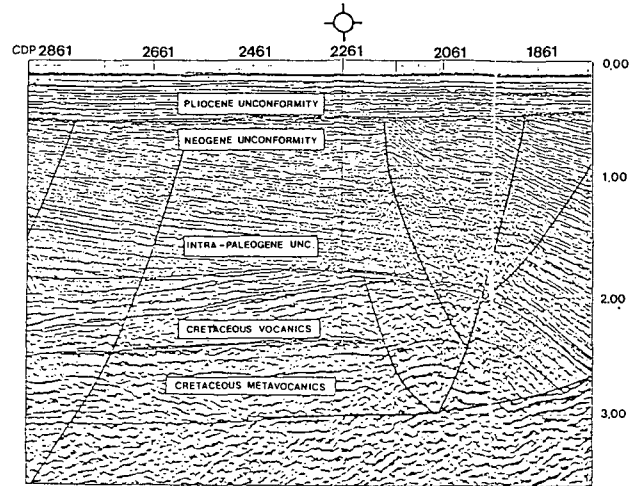


Fig. 6. Interpretation of a seismic section in Block II of the Yellow Sea.

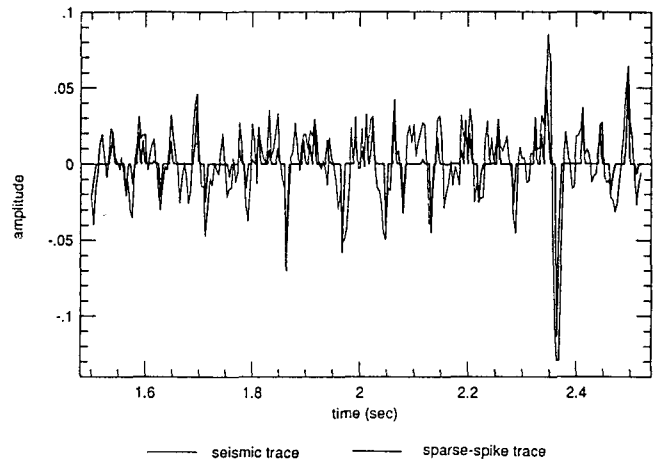


Fig. 7. Sparse-spike trace plotted with the seismic trace at CDP 2265.

최근에 실시된 황해 제 2광구에 대한 반사법 탄성과 탐사 및 시추조사에 의해 황해 중부 퇴적분지의 지질학적인 특성이 밝혀지고 있다. 황해 중부 분지는 제 1광구와 제 2광구에 걸쳐 발달되어 있으며, 이 지역에 위치하는 7개공의 시추 자료를 종합하여 볼 때, 이 퇴적 분지는 백악기 내지 고생대층을 기반암으로 하여, 제3기 내지 제4기에 걸쳐 단층 함몰에 의해 형성되었다(공영세, 1987; 박영수, 1987). 중국측에 위치한 중부 분지의 북부 지역은 고생대 기반암 위에 제3기층이 분포하고 있으나, 남부지역에서는 고생대층 위에 백악기층이 기반암으로 분포되어 있으며(Desheng, 1984), 중부분지의 동측부인 제 2 광구에서는 백악기층이 기반암으로 분포되어 있고, 그 하부는 확인되지 않았다(박영수, 1987). 이 기반암 위에 분포되어 있는 퇴적층은 고제3기 및 제4기에 해당되고 화석 산출 상태로 보아 육상층에 해당된다.

그림 6은 제 2광구의 반사법 탄성과 탐사 자료 중 의속도 단면도를 구하는데 사용된 축선의 해석 결과로 백악기 화산암의

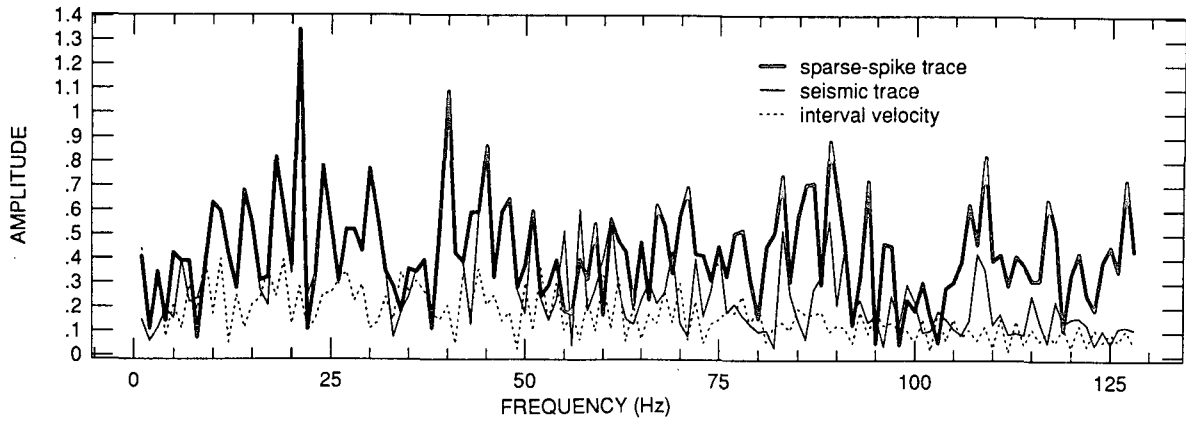


Fig. 8. Comparison of amplitude spectra of the sparse-spike, seismic, and interval velocity traces. Amplitude spectra for the sparse-spike trace (solid), the original seismic trace (light dashed), and the reflection coefficient series generated from the interval velocity trace (dashed) at CDP2265.

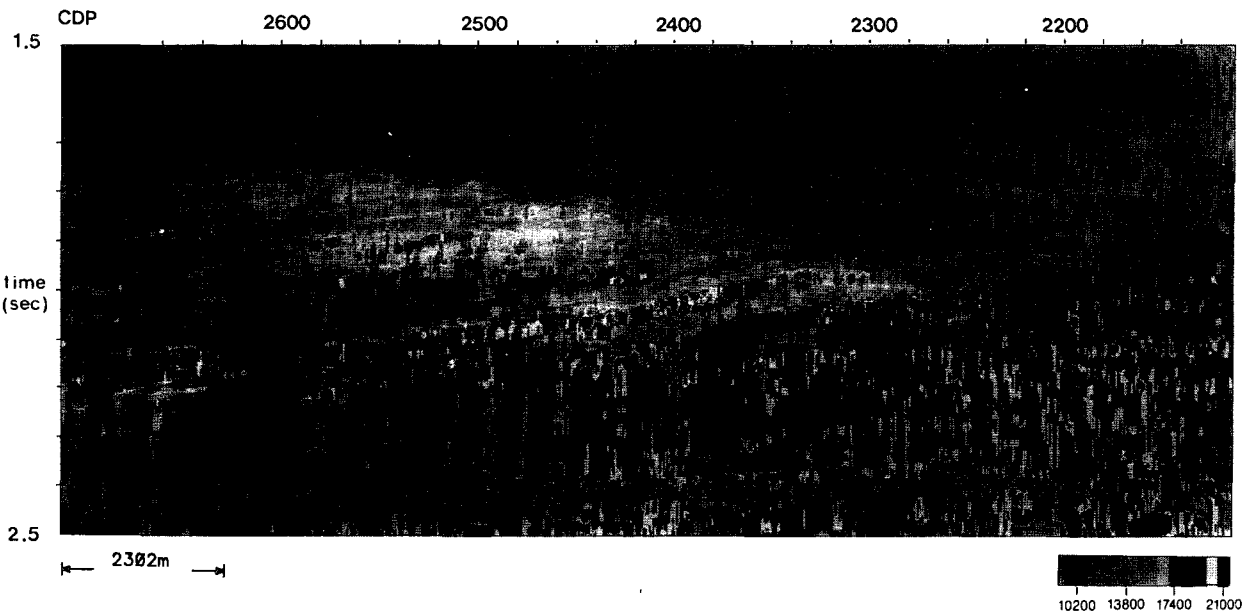


Fig. 9. Pseudovelocity section generated by the application of the trace balancing and low frequency inserting.

분포 등이 시추 자료의 결과와 잘 연관됨을 볼 수 있다. 탄성과 자료는 디멀티플렉스, 구형 발산과 흡수의 효과를 고려한 이득함수의 적용, 스파이킹 디컨벌루션, 속도분석, 중합, 구조보정, 시간에 따른 대역필터 적용 등의 자료처리를 거친 후 해석된 것이다. 이 연구에서는 트레이스를 영 위상 파형요소(zero-phase wavelet)로 만들기 위한 디컨벌루션을 수행하기 위해 중합 자료를 입력 자료로 사용하였다.

전처리과정

전처리과정의 목적은 입력자료를 선형프로그램에 적합한 형태로 만들고자하는 것으로, 이 단계에서 프로그램에 사용될 주요변수를 정의하게 된다.

탄성과 트레이스 자료는 다음과 같은 세 단계의 전처리과정을

거친다.

- 1) 디컨벌루션을 통해 영 위상 파형요소로 근사시킨다. 본 연구에서는 Wiggins(1977)의 최소엔트로피 디컨벌루션필터를 사용하였다.
- 2) 트레이스의 진폭과 근처 시추 자료로부터 구한 반사 계수의 진폭을 비교하여 필요한 경우 이득함수를 적용한다.
- 3) 진폭 스펙트럼으로부터 프로그램에 사용되는 주요변수를 결정하게 되는데 CDP2265 트레이스의 진폭 스펙트럼으로부터 전체 트레이스를 대표하는 주요변수를 결정하였다.

V_{rms} 자료는 다음과 같은 네 단계의 전처리과정을 필요로 한다.

- 1) 속도분석을 통해 V_{rms} 함수를 결정한다.
- 2) 주파수 범위의 상한계 f_{max} 를 결정한다. 선택된 축선의 속도 스펙트럼은 주요한 반사면을 따라 불규칙한 시간간격으로 샘플링되어 있으므로 이것을 175 ms 간격으로 일정하게 다시

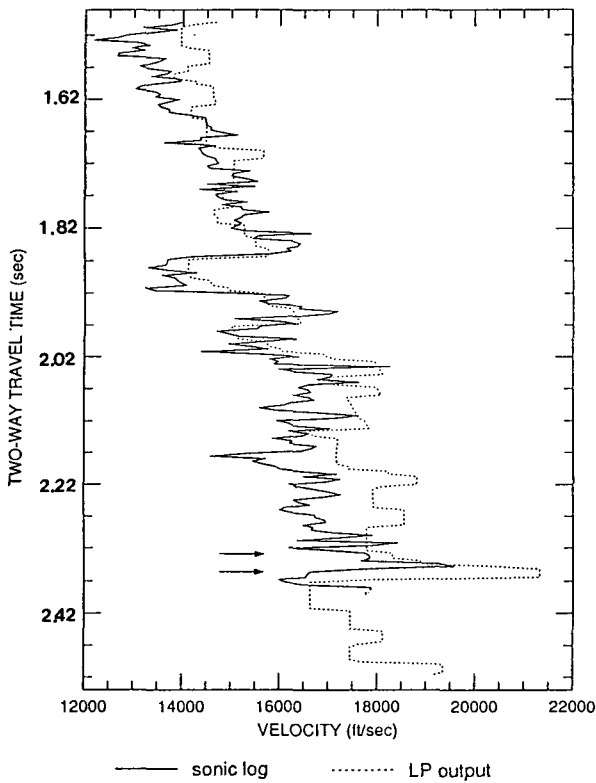


Fig. 10. Pseudovelocity trace at CDP2265 (dashed) plotted with near-by sonic log (solid).

샘플링하였다. 그러므로 f_{max} 는 2.98 Hz로 결정된다.

3) V_{rms} 자료의 내삽을 통해 각 공심점마다 V_{rms} 합수를 계산한다.

4) V_{rms} 를 구간속도로 변환하게 되는데 이 과정에서 속도분석 자료의 정확도가 떨어짐을 감안하여 21 지점 평균필터(21-point averaging filter)를 적용하였다.

의속도 단면도

제 2광구 중합 자료 중 CDP2105-2710 트레이스의 1.5초부터 2.5초 구간의 1.024초 길이의 자료에 대해 스파이스 스파이크 트레이스를 구하였다. 그림 7은 CDP2265에서의 선형프로그램의 입력자료인 탄성과 트레이스와 스파이스 스파이크 트레이스를 함께 도시한 것으로 다소 차이는 보이나, 입력 트레이스의 진폭에 대응되는 스파이크가 나타나는 것을 볼 수 있다. 선형 프로그램의 결과를 정량적으로 평가하기 위해 그림 8에서와 같이 CDP2265에서의 탄성과 트레이스, 구간속도로부터 구한 반사계수와 스파이스 스파이크 트레이스의 진폭 스펙트럼을 비교해 보았다. 스파이스 스파이크 트레이스와 탄성과 트레이스 사이의 rms오차는 0.011, 구간속도 트레이스와 rms오차는 0.03으로 나타나는데 이것은 탄성과 트레이스의 평균진폭에 대해 각각 3.1%, 3.6%의 오차를 유발시키나 두 값 모두 크지 않으므로 그 영향을 무시할 수 있다.

의속도 단면도는 스파이스 스파이크 트레이스에 식 (3)을 적용하여 만들어지는데 이때 필요로 되는 첫 속도는 구간속

도로부터 구해진다. 그러나, 이렇게 단순히 구해진 의속도 단면도는 트레이스간의 연속성이 불량하여 해석하기가 쉽지 않다. 본 연구에서는 Smith(1989)의 방법에 따라 인접 트레이스 간의 무작위 변화를 최소화시키는 필터를 적용하였다. 즉, 속도 적분과정을 수정하여 동일한 시간에서 각 트레이스의 의속도는 그 전 트레이스의 의속도와 비교해서 500 ft/s(152 m/s) 이상 변하지 않도록 하였다.

이러한 필터를 적용하여 구해진 의속도 단면도에는 전반적인 경향이 잘 나타나지 않는데, 이것은 선형프로그래밍 과정에서 유발되는 저주파수 성분의 오차 때문이다. 따라서 구간속도 자료를 이용하여 속도 적분과정에서 다시 저주파수 성분을 첨가해 주어야 한다. 즉 각 트레이스의 속도 적분 후, 일정한 시간간격에서의 구간 속도와 의속도의 평균값의 차이로부터 이득합수를 구해내서 이 합수를 의속도 트레이스에 적용하도록 한다.

그림 9는 트레이스 밸런싱(trace balancing)과 저주파수의 이득합수가 적용된 의속도 단면도로 의속도값의 범위는 12100 ~ 23600 ft/s로 나타난다. 백악기 화산암의 상부 경계는 12100 ft/s의 저속도층으로 구분되고, 백악기 변성화산암의 상부 경계는 21000 ft/s의 고속도층과 직하부에 나타나는 16500 ft/s의 저속도층에 의해 전구간에 걸쳐 뚜렷히 구분된다. CDP2200부터 우측으로는 그 지점에 위치한 단층에 의한 회절 현상 때문에 결과의 질이 떨어짐을 볼 수 있다.

그림 10은 선형프로그램의 결과와 시추자료로부터 구한 속도를 정성적으로 비교하기 위하여 CDP2265에서의 의속도 트레이스와 그 지점에 위치한 시추 자료로부터 구한 속도를 함께 도시한 것이다. 의속도 트레이스의 속도값의 범위는 14000 ~ 21500 ft/s로 시추자료의 12500 ~ 19500 ft/s에 비해 크게 나타나는데, 이것은 선형 프로그램에서 저주파수 성분을 복구하도록 사용된 구간속도값의 범위가 시추 자료에 비해 크기 때문이다. 또 다른 요인으로는 튜닝효과(tuning effect)가 있는데 이것은 연속된 반사면에 에너지원 파형 요소의 파장의 1/2보다 근접해 있을 때 원래 반사면의 진폭보다 크게 나타나는 간섭 현상으로 속도값이 크게 나타나는 요인이 된다.

백악기 화산암의 상부 경계는 시추 자료에서와 같이 큰 속도 변화를 보이지 않는데 이것은 시추 자료는 이 경계에서 여러 개의 음의 반사계수를 보이는 반면, 탄성과 트레이스는 하나의 음의 진폭으로부터 나타나지 않으므로 선형 프로그램의 적용 결과인 스파이스 스파이크 트레이스 역시 입력 트레이스와 같은 양상을 보이기 때문이다.

백악기 변성화산암의 상부 경계에서는 시추 자료의 깊이를 시간으로 변환하는 과정에서 생긴 오차로 인해 약간의 시간 변이가 나타난다. 시추 자료와 의속도 트레이스 모두에서 이 경계를 중심으로 큰 속도 변화를 보인다. 백악기 변성 화산암의 상부 경계의 바로 윗 부분에는 그림 10의 화살표로 표시된 두께 520 ft 정도의 고속도층이 나타나는데, 시추 자료의 해석 결과에 따르면 연회색 행인상 조면질 현무암, 녹회색-녹적색의 휘석이 풍부한 현무암, 감람석이 풍부한 현무암 등으로 이루어진 층이다. 약간의 시간변이는 있지만 의속도 트레이스에서 유사한 두께의 고속도층이 나타난다. 백악기 변성화산암의 상부 경계는

16500 ft/s 정도의 저속도층으로 구분되는데 이것은 백악기 변성화산암의 상부가 풍화를 받았기 때문에 나타나는 현상이다.

이 결과를 그림 9의 전체 의속도 단면도와 연관시켜 본다면 1.87초에서 CDP2265를 중심으로 좌우 여러 층상으로 뻗어 있는 저속도층의 속도는 14000 ft/s 정도로, 이것이 풍화받은 백악기 화산암의 상부 경계로 생각된다. 시추자료의 결과 해석에 의해 정의된 현무암층은 21000 ft/s 정도의 고속도층으로 전구간에 걸쳐 얇은 층상으로 나타나고, 그 바로 하부에 백악기 변성화산암의 상부 경계가 16500 ft/s 정도의 저속도층으로 2.31~2.43초 구간에 걸쳐 뚜렷히 나타난다.

결 론

본 연구에서는 탄성과 트레이스와 속도분석 자료의 속도역산을 통해 의속도 단면도를 합성해내는 방법에 대하여 고찰해 보았다. 그리고 이 방법을 이용하여 제 2광구의 탄성과 자료로부터 의속도 단면도를 계산하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Levy and Fullagar(1981), Olenburg *et al.*(1983, 1984), Smith(1989) 등이 제시한 선형프로그램 기법에 따라 서로 다른 주파수 범위를 갖는 두 개의 트레이스의 정보를 결합으로써 최소구조를 갖는 광대역의 트레이스를 만들 수 있었으며, 그 결과의 정확도는 탄성과 트레이스와 구간속도로부터 구한 반사계수 수열과 스파이스 스파이크 트레이스의 진폭 스펙트럼의 비교로부터 평가할 수 있다.

2) 황해 대륙붕 제 2광구 탄성과 자료 중 한 축선에 대한 의속도 단면도를 선형프로그램을 이용하여 구한 후, 그 진폭 스펙트럼을 계산하여 분석해본 결과에 의하면 구간속도 자료에 의한 오차가 탄성과 트레이스에 비해 다소 크지만 허용될 수 있는 범위의 오차라고 생각된다.

3) 선택된 축선의 의속도 단면도를 CDP2265에 위치한 시추자료와 연관시켜 분석함으로써 백악기 화산암과 백악기 변성화산암의 상부 경계를 구분하고 암상을 결정할 수 있었다.

사 사

본 연구를 위하여 탄성과 탐사자료의 사용을 허락하여 주신

한국석유개발공사에 감사드립니다. 또한 본 연구가 가능하도록 적극 지원하여 주신 한국석유개발공사 한종환 박사님과 컴퓨터 프로그램 작업과 도면 작성에 많은 도움을 주신 한국해양연구소의 주형태씨, 한국석유개발공사의 장성진씨, 최병구씨, 심재현씨께 감사드립니다.

참고문헌

- 공영세, 1987, 한국대륙붕 단독개발 광구의 광역지질, 대륙붕자원 연구, 한국동력자원연구소, KR-86-2-22, 15-26.
- 박영수, 1987, 한국대륙붕 단독개발 광구의 시추공지질, 대륙붕자원 연구, 한국동력자원연구소, KR-86-2-22, 27-41.
- Desheng, Li., 1984, Geologic evolution of petroliferous basins on continental shelf of China, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin.*, 68, 993-1003.
- Dix, C.H., 1955, Seismic velocities from surface measurements: *Geophysics*, 20, 68-86.
- Gardner, G.H.F., Gardner, L.W. and Gregory, A.R., 1974, Formation velocity and density-the diagnostic basics for stratigraphic traps: *Geophysics*, 39, 770-780.
- Levy, S. and Fullagar, P.K., 1981, Reconstruction of a sparse-spike train from a portion of its spectrum and application to high resolution deconvolution: *Geophysics*, 46, 1235-1243.
- Oldenburg, D.W., Scheuer, T. and Levy, S., 1983, Recovery of the acoustic impedance from reflection seismogram: *Geophysics*, 48, 1318-1337.
- Oldenburg, D. W., Levy, S. and Stinson, K., 1984, Root-mean-square velocities and recovery of the acoustic impedance: *Geophysics*, 49, 1653-1663.
- Ricker, N., 1940, The form and nature of seismic waves and the structure of seismograms: *Geophysics*, 5, 348-66.
- Ricker, N., 1944, Wavelet functions and their polynomials: *Geophysics*, 9, 314-23.
- Smith, C.D., 1989, Generation of pseudovelocity sections using an interactive workstation: *M. Sc. thesis, Texas A&M University.*
- Wiggins, R.A., 1977, Minimum entropy deconvolution: *Geoprospection*, 16, 21-35.

1993년 6월 2일 원고접수