

탄성과 기록으로부터 기본 파형 추출에 관한 연구

이 두 성¹⁾

Waveform Estimation from Seismic Records

Doo Sung, Lee

요 약 : 탄성과 파형은 탄성과 트레이스가 탄성과의 고유파형과 매질의 반사계수 시계열과의 1차 콘볼루션이라는 가정 아래 위너적합필터(Wiener match filter)에 의하여 산출될 수 있다. 이때 매질의 반사계수 시계열은 음파 및 밀도검층 기록으로부터 도출한다. 본 논문에서는 파형 산출의 한 방법으로 탄성과 트레이스 및 반사계수 시계열을 보정하는 전처리과정의 효과를 검증하는 실험을 실시하였다. 이 전처리과정은 시간 측정은 탄성과 트레이스로부터, 그리고 반사계수는 검층 기록으로부터 잘 측정될 수 있다는 가정에 근거한다. 따라서 전처리과정은 1) 음파검층 기록의 깊이로부터 시간으로의 변환을 탄성과 트레이스에 잘 적합하도록 시작시각과 구간별 시간 길이를 조절하고, 2) 탄성과 트레이스의 진폭을 검층기록에서 도출된 반사계수와 잘 적합하도록 조절하는데 이때 탄성과와 검층의 저주파 성분만을 비교한다.

Abstract : Seismic waveform estimation is based on the assumption that the seismic trace tying a well is one dimensional convolution of the propagating seismic waveform and the reflectivity series derived from well logs (sonic and density). With this assumption, the waveform embedded in a seismic trace can be estimated using a Wiener match filter. In this paper, I experimented a preprocessing procedure that applies both on the seismic trace and on the reflectivity series. The procedure is based on the assumption that the travel time can be estimated better from the seismic trace and that the instantaneous reflectivity values can be measured better on the well log. Thus the procedure is, 1) start-time adjustment and dynamic differential stretches are applied on the sonic log, and 2) seismic amplitudes are balanced such that the low frequency part of the seismic are matched to that of the reflectivities derived from well logs.

Keywords : 고유파형, 의사 임피던스로그, 디콘볼루션

서 론

본 논문에서는 검층기록을 사용하여 탄성파기록으로부터 탄성과의 고유파형을 추출하는 한 방법을 제시하고 실제 현장자료에 적용한 사례를 보고하였다. 탄성과 자료로부터 저류층 특성화에 필요한 암석 물성을 산출하는 과정은 탄성과 기록의 역산 과정을 포함한다. 이 역산의 최종목표는 모든 사전정보에 의하여 제어된 임피던스 트레이스 또는 의사 임피던스 로그(pseudo-impedance logs)의 산출이라고 할 수 있다. 임피던스 로그의 산출방법은 저주파 성분을 음파검층 기록으로부터 도출하고 고주파 성분을 디콘볼루션된 탄성과 트레이스로부터 도출하여 작성하는 방법이 주로 사용되고 있다(Lavergne and Willim, 1977; Lindseth, 1979). 이러한 방법의 적용은 탐사지역내의 모든 탄성과 트레이스가 각각 서로 다른 형태의 고유파형을 보유하게 되며 따라서 공간 분해능 또는 반사 이벤트의 공간 연속성에 영향을 줄 수 있다.

상술한 문제점을 보완하는 한 방법으로 탐사지역에 한 개의 최적 고유파형을 사용하여 임피던스 로그를 도출하는 방법을 고려할 수 있다. 다수의 검층기록이 있는 경우, 검층기록이 있는 모든 지점의 검층기록으로 제어된 역산을 통하여 탄성과 트레이스로부터 각각 최적 고유파형을 산출하고 산출된 탄성과 파형 들을 통계적으로 종합하여 한 개의 최적 파형을 도출할 수 있다.

임피던스는 매질의 반사계수(reflection coefficients)로부터 산출할 수 있으며, 탄성과 트레이스가 일정대역폭을 보유한 (band-limited) 탄성과의 고유파형(waveform)과 매질의 반사 특성(earth reflectivity)과의 콘볼루션이라는 가정 하에 탄성과의 고유파형을 알면 탄성과 트레이스로부터 매질의 반사계수 시계열(time series)을 산출할 수 있으며 따라서 의사 임피던스 로그를 얻을 수 있다(Lines and Treitel, 1984). 본 논문에서는 검층기록과 탄성파기록의 상호보정의 전처리 과정을 통한 역산법에 의한 탄성과의 고유파형을 산출하는 방법과 이 방법을 실제 현장 자료에 적용한 결과를 제시하였다.

*1998년 11월 3일 접수

1) 한성대학교 정보처리연구센터(IPRD, Hansung University)

탄성과 데이터

본 논문에서 사용한 탄성과 데이터는 미국 텍사스주 북서부의 FortWorth Basin에 위치한 Boonsville 천연가스 field에서 획득되었다(Hardage, 1996). 이 데이터는 미국 에너지성(DOE)과 가스연구소(Gas research Institute)의 기금으로 2차 가스회수(Secondary gas recovery) 기술개발 프로그램의 일환으로 획득되었으며 일반에게 공개된 데이터로서 미국 The Bureau of Economic Geology를 통하여 구입할 수 있다. Hardage(1996) 보고서에 의하면 이 지역에서 취득한 데이터는 다음과 같다.

- 3D seismic data
 - 5.5 mi² full fold time migrated.
 - bin size 110×110 ft
- 검층기록 data
 - 38 well에서 다양한 검층기록이 있다. 탄성과 자료처리에 참조할 수 있는 음파 검층기록은 Ashe C5, B Yates 11, I.G Yates 9, B Yates 18D 등 4개 well에서 취득하였다(Fig. 1).

탄성과 고유파형 산출

탄성과자료로부터 탄성과 고유파형의 제거는 해상도와 탄성파 충실도(fidelity)를 높여서 탄성과자료 해석시 지질단위(geologic units)인식에 대한 불확실성(uncertainty)을 줄이는데 기여하게 된다. 일반적으로 탄성과 고유파형의 추출은 여러 가지 통계적 모델을 사용한 디콘볼루션 방법과, 검층기록을 참조한 탄성과 트레이스의 역산방법이 있다(Leinbach, 1995). 특히 생산 유전 지역의 3-D 탄성과 자료 해석시 시도되는 탄

성과 고유파형의 분석과정은, 다수의 검층기록이 있는 경우, 시추공 위치에 있는 탄성과 기록들로부터 각각의 최적 파형요소(wavelets)를 산출하고 이들을 사용한 역산 결과들을 검층기록과 비교 분석하여 해석자가 최적이라고 생각되는 파형요소를 선택하는 방법이 사용되고 있다(Helland-Hansen *et al.*, 1997).

검층기록과 탄성과 트레이스와의 결합(well log and seismic tie)

고유파형의 산출의 첫 단계는 검층기록(sonic and density)과 이에 대응하는 탄성과 트레이스의 결합 시도이다. 탄성과 기록과 검층기록을 결합하는 과정은 다음과 같다.

1. 음파검층 기록(Sonic log)을 적분하여 시간-깊이(time-depth) 함수관계를 도출한다.
2. 음파검층기록과 밀도검층 기록으로부터 임피던스 시계열을 산출하고 이를 미분하여 반사계수 시계열 $r(t)$ 를 산출한다.
3. 검층기록에서 산출된 반사계수 시계열을 탄성과 대역폭과 비슷한 파형요소(보통 Ricker wavelet)로 컨볼브하여 합성탄성과 트레이스(synthetic trace)를 작성하고 이 결과와 탄성과 트레이스와 적합(match)을 시도한다.

Fig. 2에는 B Yates 18D well에서 취득한 검층기록과 리커(Ricker) 파형요소(dominant frequency 80Hz)를 사용한 합성탄성과기록을 탄성과 기록에 중첩하여 비교하였다. 탄성과 자료는 3-D 탄성과와 Line-152(crossline)이다. 여기서 검층기록에 대응하는 탄성과기록은 CDP 112이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 시간 및 진폭면에서 적합상태가 그리 좋지 않다. 적합상태가 좋지 않은 이유는; 사용한 리커파형요소가 실제 탄성과 고유파형과 상이하거나, 음파 검층기록을 적분하

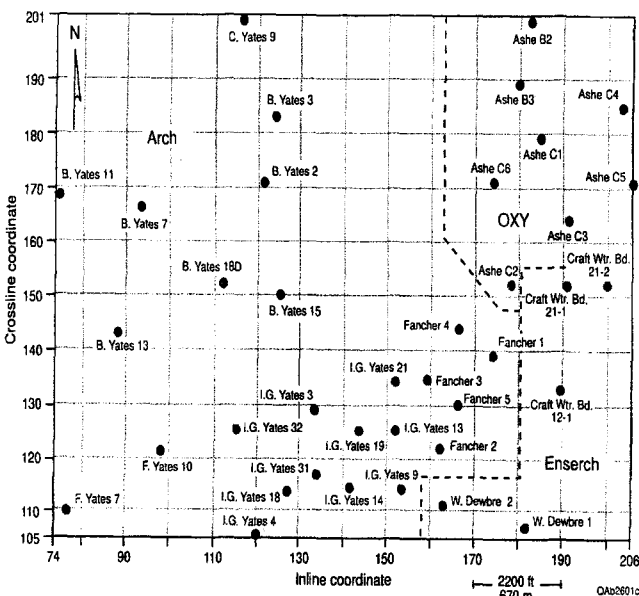


Fig. 1. Map of the 3-D seismic lines and well locations.

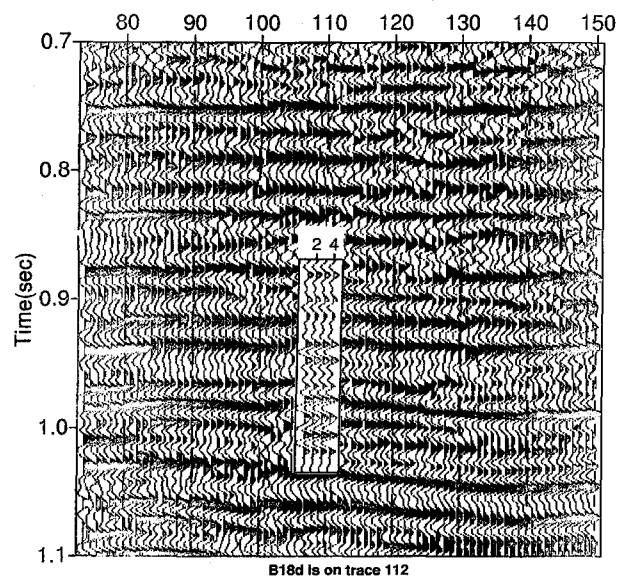


Fig. 2. Seismic section through well B Yates 18 D. Four synthetic seismogram traces are spliced into the data at the well location.

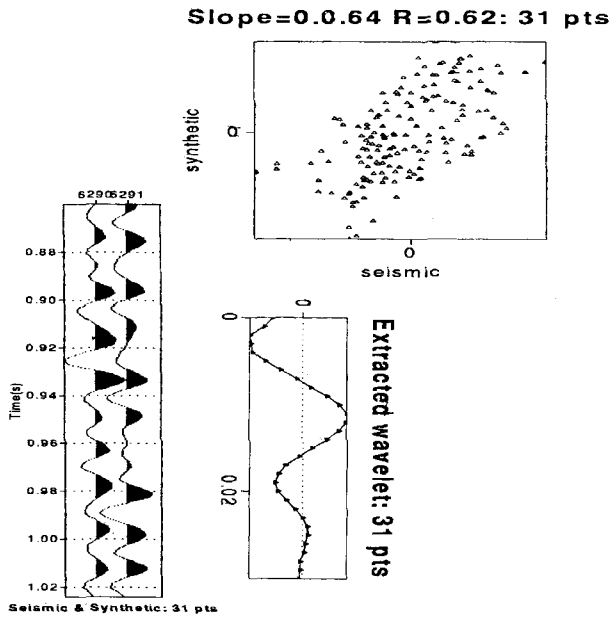


Fig. 3. Comparison of the seismic and the synthetic traces with estimated wavelet. The wavelet is 31-points. Correlation coefficients, $R=0.62$.

여 추출한 시간-깊이 함수관계가 부정확할 수 있다고 생각할 수 있다.

탄성과 고유파형은 위너성형필터(Weiner shaping filter)를 사용하여 반사계수 시계열 $r(t)$ 와 이에 대응하는 탄성과 트레이스 $x(t)$ 로부터 산출하였고 그 결과는 Fig. 3에 제시하였다. 산출된 고유파형을 사용한 합성탄성파기록과 탄성과 트레이스의 적합정도는 Fig. 2 보다 양호한 사실을 볼 수 있다. 탄성과 트레이스와 합성탄성파기록과의 적합정도는 상관계수 (correlation coefficient) R 로서 평가할 수 있다.

상관계수는 다음과 같이 정의된다.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

여기서 Y_i 는 합성탄성파기록, X_i 는 탄성파기록, X 와 Y 를 선형회귀(linear regression) 했을 때 절편과 기울기를 각각 a 와 b 라 하고 X_i 의 평균값을 \bar{X} 라 했을 때, $\bar{Y} = a + b\bar{X}$ 이고 $\hat{Y}_i = a + bY_i$ 이다. 식 (1)에서 두 시계열이 동일할 경우 즉 완전적합(perfect match)일 경우 R 의 값은 1이 된다. 파형요소의 길이에 따른 적합상태를 평가하기 위하여 151-점 파형요소를 산출하고 그 결과를 Fig. 4에 제시하였다. Fig. 4에서 보면, 파형요소의 길이를 증가시킨 결과 상관계수가 증가되었음을 알 수 있다.

음파검층기록의 길이조정(stretching well log)

음파검층기록을 적분하여 기준면(datum)에서 반사점까지 왕복(2-way) 주행시간을 산출하는데는 시추공벽의 손상, 시추이수의 침투, 또는 잡음 등의 이유로 산출된 시간에 다소

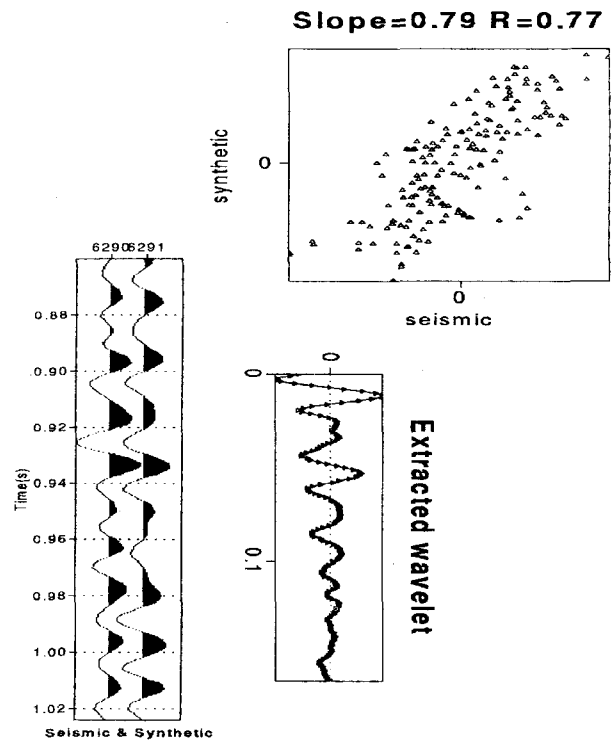


Fig. 4. Comparison of the seismic and the synthetic traces with the extracted wavelet (151 points). Correlation coefficients, $R=0.77$.

오차를 도입할 수 있다. 따라서 검층기록으로부터 산출된 $r(t)$ 가 탄성파기록과 잘 적합하도록 $r(t)$ 를 구간별로 조정할 필요가 있다. 이러한 작업의 논리적 기반은 검층기록은 깊이의 함수이고 탄성파기록은 시간의 함수임으로 시간영역 즉 시계열을 비교하는데 탄성파 기록에 더 비중을 둘 수 있기 때문이다. 이를 위하여 $r(t)$ 를 탄성파 기록과 비교하여 주행시간이 맞도록 구간별로 길이 조절을 하였으며 탄성파 대역으로 필터링 하였다. 보정 전의 $r(t)$ 와 보정 후의 $r(t)$ 를 탄성파기록과 비교한 결과를 Fig. 5에 제시하였다.

탄성과 트레이스 진폭조정 (amplitude balancing)

Fig. 5b에서 보면 주요 반사 이벤트(reflection events)는 탄성파와 검층기록이 잘 결합(tie)되나 진폭에서 차이가 있음을 알 수 있다. 탄성파의 진폭은 덮은층(overburden)의 영향으로 실제의 지층 경계면에서의 반사계수를 정확하게 대표하지 못하는 반면 검층기록은 매질의 변화를 보다 정확히 표출한다고 볼 수 있으므로 탄성파 트레이스의 진폭을 $r(t)$ 로 조정하는 것이 바람직하다. 이때 탄성파의 충실성(fidelity)을 보존하기 위하여 탄성파와 검층기록의 저주파수(0-10 Hz) 대역의 진폭을 비교하여 탄성파 트레이스를 보정할 보정함수를 산출하였다(Fig. 6).

Fig. 6a의 왼쪽으로부터 반사계수 시계열, 탄성파 트레이스의 저주파 대역 진폭 엔벨로프(envelope)이고, 제일 오른쪽이 탄성파 기록에 적용될 조정함수(balancing function)이다. 그

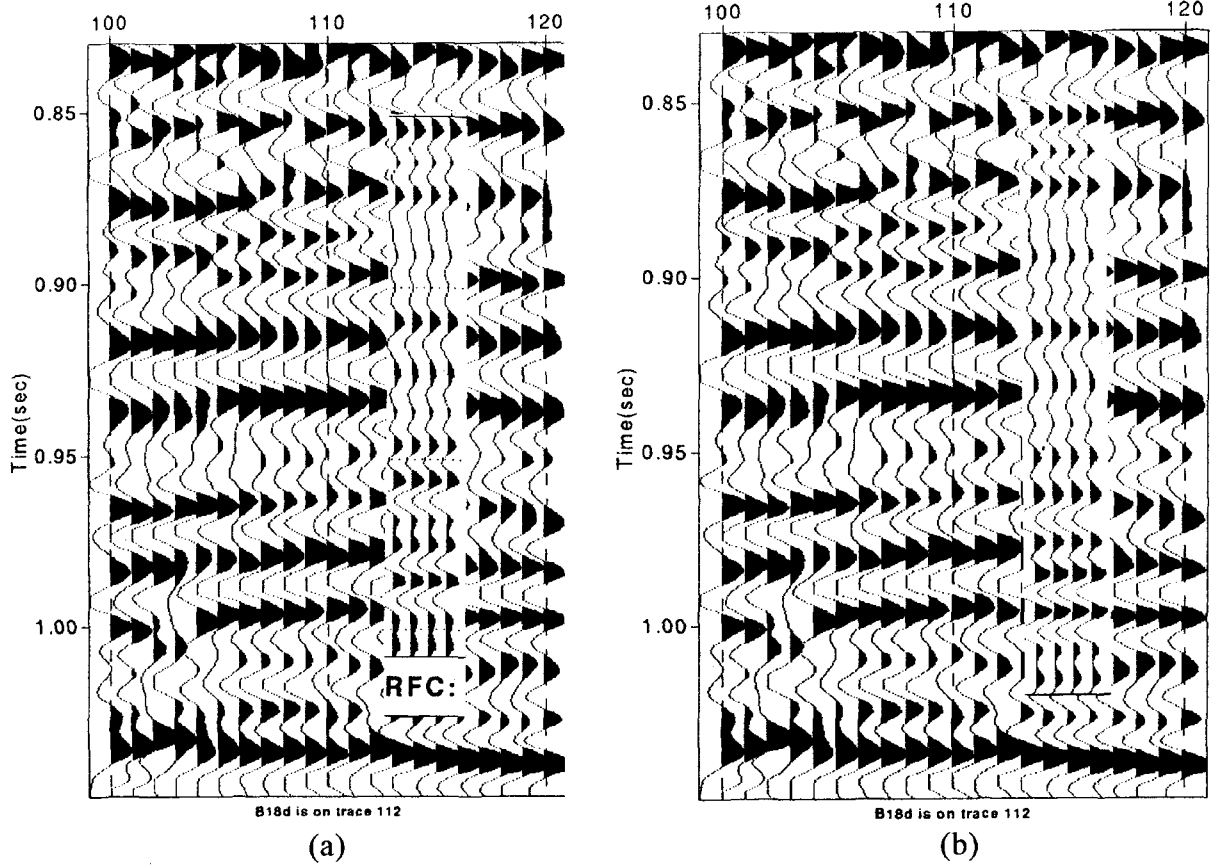


Fig. 5. Synthetic seismograms are spliced into the seismic section. (a) before stretch and (b) after stretch.

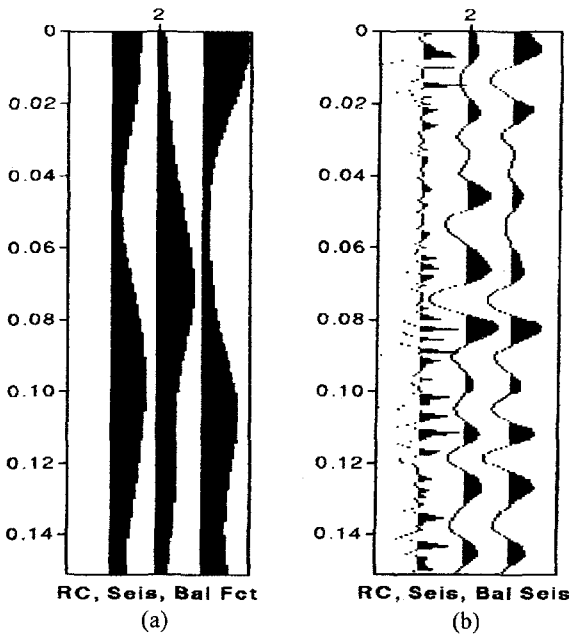


Fig. 6. (a) From left low frequency envelopes of the reflectivity, the seismic trace and the balancing function, and (b) reflectivity, seismic trace, and the balanced seismic trace.

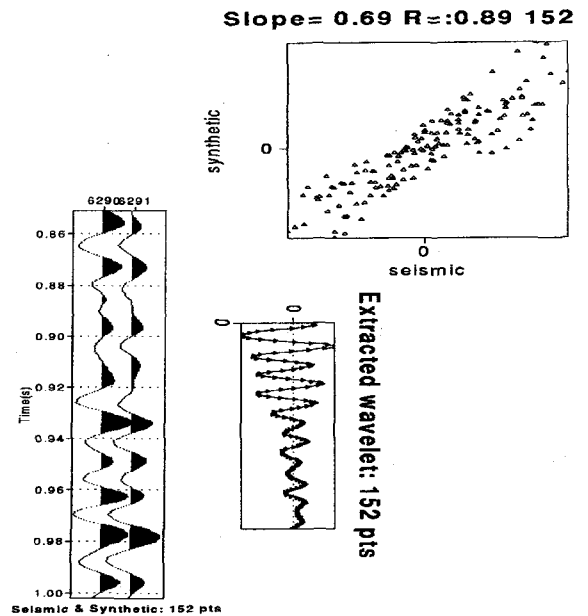


Fig. 7. Comparison of the balanced seismic and the synthetic traces with the extracted wavelet (152 points) Correlation coefficients, $R=0.89$.

리고 Fig. 6b에 $r(t)$, 탄성과 트레이스, 그리고 조정된 탄성과 트레이스를 제시하였다. 조정된 탄성과 트레이스를 사용하여

고유파형을 추출한 결과 탄성과와 합성탄성과의 상관계수가 매우 향상되었음을 알 수 있다($R=0.89$) (Fig. 7). Fig. 8에 Fig.

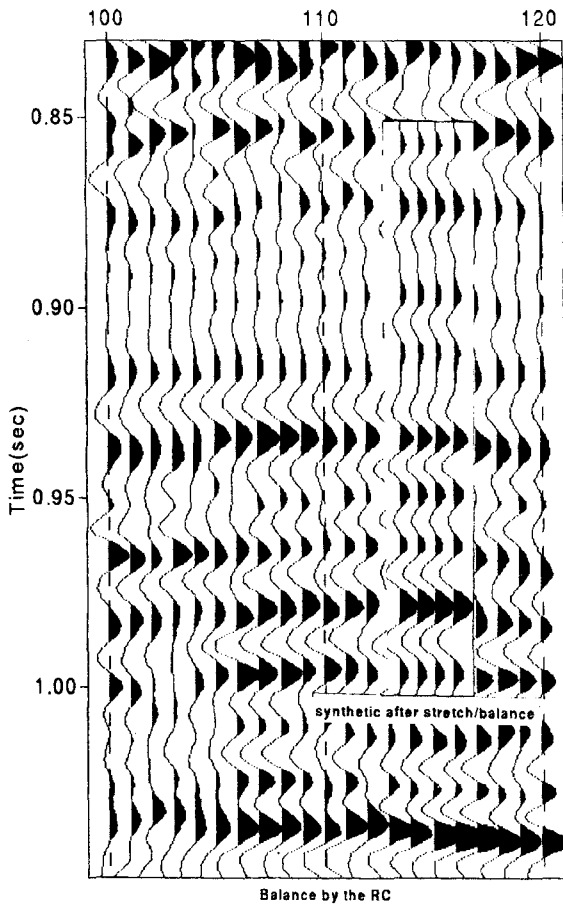


Fig. 8. Four synthetic seismic traces are spliced into the balanced seismic section.

7에 제시된 고유파형을 사용하여 작성된 합성탄성파기록을 탄성파기록에 중첩하여 제시하였다. 이 결과에서 보면 음파 검층 기록을 탄성파에 기준한 stretch와 탄성파를 검층 기록으로 보정한 작업 결과 검층과 탄성파의 적합이 현저히 향상되었다.

결 론

본 논문에서는 탄성파기록으로부터 탄성파의 고유파형을

추출하는 한 방법을 제시하고 실제 현장자료를 사용하여 적용한 사례를 보고한다. 탐사지역에 한 개의 최적 고유파형을 사용하여 임피던스 로그를 도출함으로써 공간 분해능 또는 반사 이벤트의 공간 연속성을 증진시킬 수 있다.

본 논문에서는 검층기록과 탄성파기록의 상호보정의 전처리 과정을 통한 역산법에 의한 탄성파의 고유파형을 산출하는 방법을 제시하였으며, 그 과정을 실제 현장기록에 적용한 결과 산출된 고유파형을 사용한 합성탄성파 기록과 실제 탄성파 기록의 적합이 현저하게 증진된 사실을 확인하였다.

전처리과정에서 제시한 방법으로 검층기록과 탄성파 기록으로부터 깊이-시간 함수와 진폭조정함수를 모든 검층기록이 있는 지점에서 산출하여 이를 통계학적인 처리를 하여 공간 적응(space adaptive)적인 저주파 임피던스 3-D 모델을 작성하고 이를 3-D 탄성파 자료 역산에 적용함이 바람직하다.

사 사

본 연구는 한성대학교 교내 특별연구지원에 의하여 일부 지원되었다. 본 연구수행중 자료처리에 도움을 준 한성대학교 정보처리연구센터 김대영군에게 감사한다.

참고문헌

1. Hardage, B. A., 1996, Boonsville 3-D data set: The Leading Edge, **15**(7), 835-837.
2. Helland-Hansen, D., Magnus, I., Edvardsen, A. and Hansen, E., 1997, Seismic inversion for reservoir characterization and well planning in the Snorre Field: Leading edge, **16**(3), 269-273.
3. Lavergne, M. and Willim, C., 1997, Inversion of seismogram and pseudo velocity logs: Gephys. prosp., **25**, 231-250.
4. Leinbach, J., 1995, Wiener spiking deconvolution and minimum-phase wavelets: tutorial: Leading edge, **14**(3), 189-192.
5. Lindseth, R. O., 1979, Synthetic sonic log-a process for stratigraphic interpretation: Geophys., **44**, 3-26.
6. Lines, L. R. and Treitel, S., 1984, A review of least-squares inversion and its application to geophysical problems: Geophys. Prosp., **32**, 159-184.