

지오빗에 의한 가스 하이드레이트 탄성과 자료 음향임피던스

장 성형¹⁾, 김 영완²⁾, 도안 후이 히엔¹⁾, 서 상용¹⁾

Acoustic impedance for gas hydrate by Geobit

Seonghyung Jang, Youngwan Kim, Doan Huy Hien, Sangyong Suh

Key words : Geobit(지오빗), Gas hydrate(가스 하이드레이트), BSR(해저면 기인 고진폭 반사파), Acoustic impedance(음향 임피던스)

Abstract : 속도와 밀도의 함수로 이루어진 음향 임피던스는 탄성파자료부터 물성변화를 확인하는 방법 중의 하나로 이용된다. 본 연구에서는 한국지질자원연구원에서 개발된 탄성과 탐사자료처리 무른모 지오빗을 이용하여 기본 자료처리를 실시하고, 음향 임피던스 변환 모듈을 적용하여 동해 가스 하이드레이트 현장자료에 대한 광역 임피던스변화를 구하고 이로부터 음향 임피던스 단면도를 구하고자였다. 음향 임피던스 단면도는 중합단면도상에서 음향 임피던스 변화를 보여주고 있으며 특히 왕복주시 2.9초 전후에서 해저면 반사파와 위상이 반대이며 고진폭을 나타내는 해저면 기인 고진폭 반사층으로 여길만한 지점에서 그 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다. 탄성파자료는 10 Hz 이하 저주파 정보가 들어있지 않아 완전한 음향 임피던스를 구할 수 없으므로 층서해석이 이루어진 중합 단면도부터 광역 임피던스를 구하였다. 향후 시추자료를 활용할 경우 좀더 정확한 음향 임피던스 단면도를 생산할 수 있을 것으로 여겨진다.

Nomenclature

r : reflection coefficient
 w : wavelet
 ρ : density
 V : velocity
 I : acoustic impedance

subscript

BSR : bottom simulated reflection

1. 서론

음향 임피던스는 탄성과 속도에 밀도를 곱한 것으로 반사계수는 상하지층의 음향임피던스 비로 나타낸다. 탄성파 자료로부터 계산된 음향 임피던스는 탄성파자료 해석에 자주 이용되는 방법 중 하나로 음향 시추자료로부터 인공합성자료를 계산하는 과정을 역으로 간주할 수 있다 (Kunetz⁽¹⁾, 1963). 탐사자료 정밀처리를 통하여 구한 주 반사계수를 재귀공식을 이용하여 음향 임피던스로 변환한다. 이와 같은 방법으로 현장자료에 적용한 사례는 Lavergne⁽²⁾ (1975), Lindseth⁽³⁾⁽⁴⁾ (1976, 1979), Lavergne and Willm⁽⁵⁾ (1977), Becquey et al.⁽⁶⁾ (1979) 등을 들 수 있다. 현장자료로부터

반사계수 시계열을 구하기 위해서는 진폭보정, 위상보정, 성형필터 (shaping filter), 디콘, 중합, 구조보정 등 정밀 자료처리가 필요하다. 일반적으로 탄성과 기록은 반사계수와 음원이 대합하고 잡음이 더해서 구성되는 것으로 이를 수직으로 표현하면

$$\hat{r}_k = r_k * w_k + n_k \quad (1)$$

이다. 여기서 r_k 는 주 반사계수 시계열, w_k 는 음원, n_k 는 잡음을 나타낸다. 위식으로부터 탄성과 자료를 이용하여 음향 임피던스를 계산하는 방법은 불연속 탄성과 모델과 연속 탄성과 모델의 두 가지 비선형 방법이 있는 반사계수의 절대 값이 0.4 이하이면 결과는 거의 비슷하다 (Berteussen and Ursin⁽⁷⁾, 1983).

한국지질자원연구원에서는 1997년부터 동해에서 메탄 하이드레이트 부존 유망지역을 조사하기 위해 탄성과 탐사를 수행해 왔으며 여기에서는 동해에서 취득된 탄성파자료에 대해 일반적인 자료처리를 Geobit-2.10.12 (서 상용⁽⁸⁾, 2004)을 이용하여 실시하고 중합단면도를 작성하였다. 가스 하이드레이트는 고압 저온 조건하에서 물과 메탄 가스가 결합하여 형성된 고체상 화합물로 영구 동토지역과 수심이 깊은 해저의 천부 퇴적층에 광범위하게 분포되어 있는 것으로 알려져 있다

(Makogon⁽⁹⁾, 1997). 가스 하이드레이트 부존 확인은 탄성과 단면도에 나타나는 BSR, AVO 해석 그리고 시추자료로부터 직접 확인하는 방법 등이 있다. AVO 분석(Ostrander⁽¹⁰⁾, 1984; 양 동우 외 1인⁽¹¹⁾, 1996)은 BSR 상부에서 진폭감소현상이 발생하고 하부에는 가스에 의한 진폭증가 현상(Shipley et al.⁽¹²⁾, 1979; Andreassen et al.⁽¹³⁾, 1997) 이 나타난다. 여기에서는 중합단면도상에서 BSR 징후를 보이는 가스 하이드레이트 탄성과 자료 대해 지오빗을 이용하여 기본자료처리를 실시한 후, 음향임피던스 단면도를 구하고 이로부터 지하정보를 살펴보고자 하였다.

2. 현장자료 및 기본처리

탄성과 탐사자료로부터 음향 임피던스 단면도를 구하기 위해서는 일반적인 자료처리와 중합을 마친 후 지층경계면을 결정하는 기본적인 해석과정이 필요하다. 일반적인 자료처리 과정 중 트레이스 편집, 뮤팅, 구형확산 보정, 중합전 디콘, 주파수 대역 필터링 등 잡음과 다중반사파를 제거하기 위한 필수적인 전처리를 실시한다. 반사계수로부터 음향 임피던스 단면도가 계산되므로 다중반사파 제거기술과 디콘기술이 중요하게 된다. 여기에서는 동해에서 취득된 탄성과 자료에 대해 지오빗을 이용하여 약 2,000개 정도의 음원 모음도에 기본 자료처리를 실시하고 중합단면도를 제작하였다. 본 자료는 1 ms 샘플링 간격으로 4.096 초 동안 기록되었으며, 음원간격은 12.5 m, 수진기 간격은 6.25 m, 최단 음셋거리는 50 m 이다. 전처리 과정을 통해서 대역필터링은 10, 20, 80, 100 Hz인 사다리꼴 필터를 적용하였고, 직접파를 제거하기 위해 2.6 초 대 이전 잡음을 제거하기 위해 뮤팅을 적용하였다. Fig. 1은 임의의 현장 음원모음도와 전처리 과정을 마친 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 음원영향을 받은 직접파와 첫 번째 반사파가 2.68초 이후에서 보이고 있어 해저면 수심이 약 2. Km 이상 되는 해수면이 깊은 자료임을 짐작할 수 있다. 전처리과정을 마친 자료에 대한 중합단면도는 Fig. 2에 있다. 그림에서 보듯이 CDP 3200, 8000 부근에서 천부가스 분출현상을 볼 수 있으며 해저면 위상과 반대이며 상대적으로 고진폭을 나타내는 BSR이 CDP 3200에서 12000 사이, 왕복주시 2.9 초 부근에서 나타남을 보여준다.

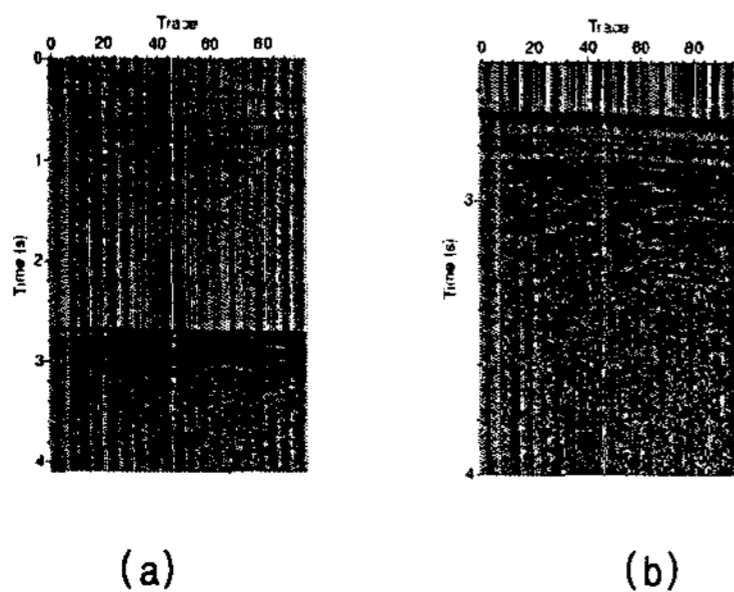


Fig. 1. A field shot gather and its preprocessed gather by Geobit.

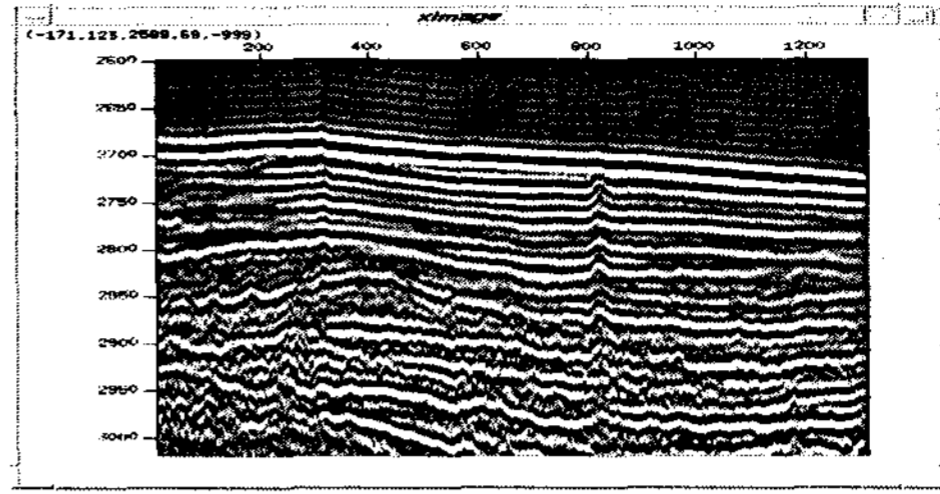


Fig. 2. A stack image.

3. 광역 임피던스 계산

탄성과 임피던스 변환에 있어서 검층자료의 역할중 하나는 광역 임피던스를 계산하는 것이다. 광역 임피던스는 검층자료에서 저주파 성분을 추출하고 이를 이미 해석된 층서를 따라 외삽 또는 내삽시킴으로써 얻는다. 검층자료로부터 계산되는 저주파수 성분 임피던스는 검층지점 외부로 외삽시킴으로써 광역 임피던스를 계산한다. 검층자료가 탄성과 축선의 복수 위치에서 존재한다면 두 검층점 사이는 내삽을 실시한다. 외삽이나 내삽은 층서해석 결과로 얻은 층서를 따라 실시한다. 지오빗은 중합단면도형 지질모델을 생성시키는 역할을 하는 모듈을 가지고 있는데 주 입력자료는 각 층의 상부와 하부 경계면의 좌표 값이다. 좌표정의에는 각 지층선 노드에 대한 CDP 번호와 시간쌍을 숫자로 표시하는 것과 층서해석 결과 얻어진 지층선 자료를 이용한다. 사용자는 두 방법을 혼용하여 지층선, 노드를 지정할 수 있도록 설계되어 있다. 사용자 선택에 따라 단순한 기하학적 모델을 작성할 수 있으며 하나 또는 복수의 공심점에서 정의된 검층자료나 탄성과 속도자료를 외삽 또는 내삽시켜 중합형 탄성과 단면도를 작성할 수도 있다. 자료변화 폭을 완만하게 하는 내삽법은 3점 이동평균법으로 각 가중치는

$$(0.5*(1-W), W, 0.5*(1-W)) \quad (2)$$

을 이용한다. 여기서 W 는 중앙점의 가중치이며 사용자변수로 지정한다. 가중치의 초기 값은 0.5 이다. 상기 3점 이동평균을 반복하면 자료 값의 변화폭을 줄이는 효과가 점점 커진다.

탄성과 기록에서 진폭이 비교적 큰 파동을 지층경계로 간주할 때 각 지층의 음향 임피던스는

$$\begin{aligned} (\rho V)_{n+1} &= (\rho V)_n \frac{1+C_n}{1-C_n} \\ &= (\rho V)_0 \prod_{k=1}^n \frac{1+C_k}{1-C_k} \end{aligned} \quad (3)$$

에 의해 비반복적 방법으로 직접계산이 가능하다. 여기서 C_n 은 n 번째 진폭, $(\rho V)_n$ 는 n층의 음향계수를 나타낸다. 이 계산식은 탄성과 기록 반사계수의 진폭을 갖는 임펄스로 되어 있을 때 적합

한 식이다. 그러나 실제 기록은 임펄스가 아닌 파형으로 되어 있으므로 이 파형을 모두 이용한 음향계수 직접계산식을 이용할 필요가 있다. 각 지층의 물성이 서서히 변할 때 경계면 j에서의 반사계수를 $C_j = r(j\Delta\tau)\Delta\tau$ 라 간주하면 반사함수 $r(\tau) (= C_j/\Delta\tau)$ 는

$$r(\tau) = \frac{I_{j+1} - I_j}{(I_{j+1} + I_j)\Delta\tau} \approx \frac{\Delta I_{j+1}}{2I_{j+1}\Delta\tau} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2} \ln I_{j+1}$$

이며 위식의 양변을 τ 로 적분하여 정리하면 (Berteussen and Ursin, 1983)

$$I_{j+1} = I_0 \exp\left(2 \int_0^\tau r(\tau) d\tau\right) \quad (5)$$

이다. 즉 탄성과 기록의 적분으로부터 음향계수를 구할 수 있다. 위 적분대신

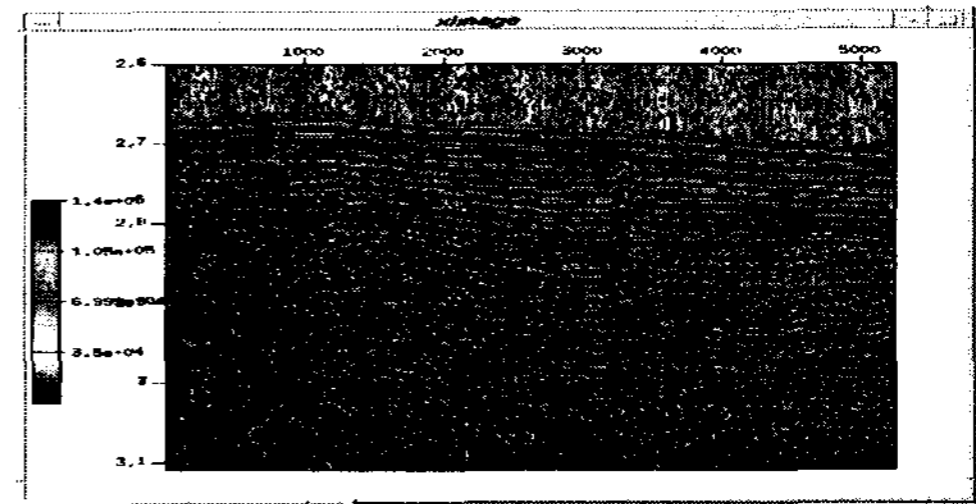
$$I_{j+1} = I_0 \exp\left(2 \sum_{k=0}^j C_j\right) \quad (6)$$

에 의해 탄성과 기록의 0 - j 번째 샘플 값의 총합으로 음향계수를 구한다. 탄성과 기록은 일반적으로 디콘처리 됨으로 디콘 된 자료에 대해 위식을 적용할 수 있다.

지오빗 임피던스 변환모듈은 탄성과 트레이스를 음향 임피던스로 변환시키고 입력 탄성과 트레이스는 반사계수로 간주한다. 원래 탄성과 자료는 약 10 Hz 이하의 정보가 존재하지 않으므로 탄성과 자료만으로는 완전한 음향 임피던스를 계산할 수 없다. 임피던스 변환모듈은 보조파일로 음향 임피던스의 저주파 성분을 제공 받는다. 임피던스 변환모듈은 음향 임피던스 변환 시 최초의 층에 대한 음향 임피던스와 각 층간의 반사계수로부터 하부층의 음향 임피던스를 반복적으로 구한다. 한편 반사계수에 잡음이 존재하면 잡음의 효과가 음향 임피던스에 누적되어 나타난다. 음향 임피던스의 계산에 있어서 음향 임피던스 초기치를 하나만 사용할 필요는 없으며, 만일 음향 임피던스 초기치를 여러 개 사용한다면 잡음의 누적효과를 크게 줄일 수 있다. 음향 임피던스 모듈의 사용자 선택 변수 "SYNC"는 초기 음향 임피던스가 정의된 시간과 이를 이용한 음향 임피던스 출력시간 간의 시간차이며 그 단위는 msec 이다. SYNC의 초기 값은 16 msec인데 이는 16 msec 이전의 음향 임피던스 초기치를 현재의 음향 임피던스 계산에 이용함을 뜻한다. 만일 SYNC 값이 0이면 시간 0의 초기치 하나만을 이용하여 모든 시간에서 음향 임피던스를 계산한다. 입력자료 중합단면도에 위상보정을 실시하고 이득조정을 실시하여 계산된 광역 음향 임피던스를 이용하여 음향 임피던스를 계산한다.

4. 현장자료에 대한 음향계수

가스 하이드레이트 현장자료에 음향 임피던스를 계산하기 위해 전처리과정을 마치고 중합된 단면도를 이용한다. Fig. 3의 중합 단면도는 CDP 3200, 8000 에서 가스 분출현상을 나타내며 해저면 위상과 반대이며 상대적으로 고진폭을 나타내는 BSR이 CDP 3200 에서 12000 사이, 왕복주시 2.9 초 부근에서 나타남을 보여준다. 중합 단면도를 이용하여 광역 임피던스를 계산하기 위해 지층 경계면을 결정하는 기본적인 층서해석을 실시하였으며 이로부터 음향 임피던스 단면도를 계산하여 도시하였다 (Fig. 4). 그림에서 보듯이 중합 단면도상에 음향 임피던스변화를 보여주고 있으며 BSR이 음향 임피던스의 차가 크게 나타나는 현상임을 고려할 때 왕복주시 2.9초 전후 BSR로 보이는 지점에서 음향 임피던스 변화가 크게 나타남을 보여주고 있다.



5. 결 론

속도와 밀도의 함수로 이루어진 음향 임피던스 단면도는 탄성과 자료에서 시간과 진폭의 크기로 기록된 지층단면도를 시간과 음향 임피던스 변화 크기로 지질정보를 알아내기 위한 방법으로 이용된다. 10 Hz 이하 저주파 정보가 들어있지 않는 탄성과 자료만으로는 완전한 음향 임피던스를 구할 수 없으므로 층서해석이 이루어진 중합 단면도부터 지오빗 음향 임피던스 변환 모듈을 이용하여 가스 하이드레이트 현장자료에 대한 광역 임피던스변화를 구하고 이로부터 음향 임피던스 단면도를 구하였다. 음향 임피던스 단면도는 중합단면도 상에서 음향 임피던스 변화를 보여주고 있으며 특히 왕복주시 2.9초 전후로 BSR로 여길만한 지점에서 그 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 산업자원 출연사업인 '가스 하이드레이트 지구 물리탐사연구' 과제에서 지원되었습니다.

References

- [1] Kunetz, G., 1963, Quelques exemples d'analyse d'enregistrements sismiques, Geophys. Prosp., 11, 409-422.

- [2] Lavergne, M., 1975, Pseudo-diagraphies de vitesse en offshore profond, *Geophys. prosp.*, 23, 695-711.
- [3] Lindseth, R. O., 1976, Seislog process uses seismic reflection traces, *Oil and Gas J.*, 74, 43, 67-71.
- [4] Lindseth, R. O., 1979, Synthetic sonic logs-A process for stratigraphic interpretation, *Geophysics*, 44, 3-26.
- [5] Lavergne, M., and Willm, C., 1977, Inversion of seismograms and pseudo velocity logs, *Geophys. Prosp.*, 25, 231-250.
- [6] Becquey, M., Lavergne, M., and Willm, C., 1979, Acoustic impedance logs computed from seismic traces, *Geophysics*, 44, 1485-1501.
- [7] Berteussen, K. A. and Ursin, B., 1983, Approximation of the acoustic impedance from seismic data, *Geophysics*, 48, 1351-1358.
- [8] 서 상용, 2005, Geobit-2.10.14 - the Seismic Data Processing Tool, 한국지질자원연구원.
- [9] Makogon, Y. F., 1997, Hydrate of hydrocarbons, PennWell Pub., Tulsa, Oklahoma, U.S., 482p.
- [10] Ostrander, W. J., 1984, Plane wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence, *Geophysics*, 49, 1637-1648.
- [11] 양 동우, 양 승진, 1996, AVO 및 복소분석에 의한 천연가스 저류층 탐지에 관한 연구, 한국자원공학회지, 제 33 권, 제 5호, 340-348.
- [12] Shipley, T. H. and Houston, M. H., Buffler, R. Tl, Shaub, F. J., McMilen, K. J., Ladd, J. W., and Worzel, J. L., 1979, Seismic evidence for widespread possible gas hydrate horizons continental slopes and rises, *AAPG Bull.*, 63, 2204--2213.
- [13] Andreassen, K., Hart, E. H. and MacKay, M., 1977, Amplitude versus offset modeling of the bottom simulation reflection associated with submarine gas hydrate, *Marine Geology*, 137, 25-40.