

가스 하이드레이트 부존층의 구조파악을 위한 탄성과 AVO 분석, AVO 모델링, AVO 역산

김 건득¹⁾, 정 부흥²⁾

Seismic AVO Analysis, AVO Modeling, AVO Inversion for understanding the gas-hydrate structure

Gun-Duk Kim, Bu-Heung Chung

Key words

gas hydrate(가스 하이드레이트), AVO Analysis(오프셋 대 진폭변화 분석), AVO Modeling(오프셋 대 진폭변화 모델링), AVO Inversion(오프셋 대 진폭변화 역산), BSR(가스하이드레이 층 하부경계면)

Abstract

The gas hydrate exploration using seismic reflection data, the detection of BSR(Bottom Simulating Reflector) on the seismic section is the most important work flow because the BSR have been interpreted as being formed at the base of a gas hydrate zone. Usually, BSR has some dominant qualitative characteristics on seismic section i.e. Wavelet phase reversal compare to sea bottom signal, Parallel layer with sea bottom, Strong amplitude, Masking phenomenon above the BSR, Cross bedding with other geological layer. Even though a BSR can be selected on seismic section with these guidance, it is not enough to conform as being true BSR. Some other available methods for verifying the BSR with reliable analysis quantitatively i.e. Interval velocity analysis, AVO(Amplitude Variation with Offset)analysis etc.

Usually, AVO analysis can be divided by three main parts. The first part is AVO analysis, the second is AVO modeling and the last is AVO inversion.

AVO analysis is unique method for detecting the free gas zone on seismic section directly. Therefore it can be a kind of useful analysis method for discriminating true BSR, which might arise from an Poission ratio contrast between high velocity layer, partially hydrated sediment and low velocity layer, water saturated gas sediment.

During the AVO interpretation, as the AVO response can be changed depend upon the water saturation ratio, it is confused to discriminate the AVO response of gas layer from dry layer. In that case, the AVO modeling is necessary to generate synthetic seismogram comparing with real data. It can be available to make conclusions from correspondence or lack of correspondence between the two seismograms.

AVO inversion process is the method for driving a geological model by iterative operation that the resulting synthetic seismogram matches to real data seismogram within some tolerance level. AVO inversion is a topic of current research and for now there is no general consensus on how the process should be done or even whether is valid for standard seismic data.

Unfortunately, there are no well log data acquired from gas hydrate exploration area in Korea. Instead of that data, well log data and seismic data acquired from gas sand area located nearby the gas hydrate exploration area is used to AVO analysis. As the results of AVO modeling, type III AVO anomaly confirmed on the gas sand layer. The Castagna's equation constant value for estimating the S_{wave} velocity are evaluated as A=0.86190, B=3845.14431 respectively and water saturation ratio is 50%. To calculate the reflection coefficient of synthetic seismogram, the Zoeppritz equation is used. For AVO inversion process, the dataset provided by Hampson-Rushell CO. is used.

-
- 1) 한국석유공사 기술실
E-mail : kdkim@koc.co.kr
Tel : (031)380-2601 Fax : (031)385-2473
 - 2) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부
E-mail : bhchung@kigam.re.kr
Tel : (042)868-3401 Fax : (042)861-0264

1. 서론

탄성과 가스 하이드레이트 탐사에서 BSR(Bottom simulating reflector)이라고 불리는 지층의 형태를 규명하는 것은 가장 기본이 되는 작업과정이다. 가스 하이드레이트는 북극과 남극 인근의 동토지역이나 심부 해저 지층의 근원암에서 지열의 변화에 의해 발생한 메탄가스가 지층의 균열대를 따라 상부로 이동하다가 저온 고압의 조건이 맞는 지역에서 물과 혼합하여 드라이아이스와 같은 형태의 고체로 존재하는 것으로 알려져 있다. BSR은 지층의 암석의 물리적인 특성 차이에 기인하는 반사면과 달리 상부의 가스 하이드레이트 층과 하부 가스층 경계면의 음향임피던스 차이에 기인한 파형의 위상 경계면이다. 그러므로 탄성과 지층단면도 상에서 BSR을 확인하는 것은 가스 하이드레이트의 부존지역을 확인하는 일반적인 근거가 된다. BSR은 일반적인 지층의 특성과 달리 탄성과 지층단면상에서 여러 가지 특성을 보이므로 쉽게 그 존재 유무를 결정할 수 있다. 예를 들어 해저면과 평행한 반사면 형태, 해저면의 탄성과 파형 극성이 반전된 형태, 주위의 반사면보다 큰 진폭의 형태를 갖는 반사면을 지층단면도에서 식별하는 작업은 전문적인 지식을 요구하는 것이 아니다.

실제적인 가스 하이드레이트 부존 규모 및 형태를 규명하기 위해서는 물리검층 자료를 이용할 수 있다. 그러나 가스 하이드레이트 하부경계면인 BSR까지 시추자료는 높은 지열과 가스 하이드레이트의 불안정한 상태 등 어려운 제한조건 때문에 이용할 수 있는 물리검층 자료는 매우 제한적이다. 또 이러한 물리검층의 자료는 정확한 In-suit 가스 하이드레이트의 특성과 물성을 규명하기 위한 필수적인 조건은 아니다(Christine). 그러므로 다중 채널 반사파 탄성과 탐사의 기록으로부터 추출할 수 있는 정보 즉, AVO분석, 인공탄성파기록 모델링, P파속도 정보, S파속도정보 등을 이용한 연구가 필요하다.

본 연구의 내용은 BSR 특성 및 물성 규명을 위한 기술 즉, AVO분석, 인공탄성파기록 모델링, P파속도 계산, S파속도 계산 등 기술을 자립하기 위한 과정을 설명하는 것이다. 본 연구에 사용된 자료는 국내 대륙붕 6-1광구에서 상업적인 천연가스를 생산하고 있는 고래-V 시추공을 지나는 탄성과 기록과 물리검층 자료를 사용하였다. 본 연구에 사용한 소프트웨어는 Landmark Geographics 사의 ProMAX, Hampson_Rushell 사의 AVO 이다.

2. 탄성과 탐사자료 전산처리

AVO 모델링을 위한 탄성과 탐사자료의 전처리 과정이 필요하다. 탄성과 탐사자료처리는 AVO분석의 입력자료가 되는 NMO 보정된 중심점 모음을 얻기 위한 과정이다. 전산처리에 사용된 중요한 전산처리 과정은 지형일치, 이득회수, 디

콘, 다중반사파 제거를 위한 "Wave equation multiple rejection", FK필터링, 1차속도분석, 레이던필터링, 정밀속도분석, FK다중반사파 제거 필터링 등이다. 그림1은 전산처리 과정을 수행한 후 입사각기준으로 재정렬한 중심점 모음이다. 정밀속도분석의 결과로 얻은 중합속도를 사용한 NMO보정 결과와 왕복주시 1550-1600 ms 사이의 AVO 이상현상을 확인할 수 있다. 그림 2는 전산처리 과정을 수행한 후 얻은 지층단면도이다. 이 지층단면도는 AVO 모델 위치와 AVO분석 구간을 설정하기 위한 자료가 된다. AVO 분석구간은 중심점 2100-3000까지 1000개가 사용되었으며 실제 구간거리는 6125 m 이다.

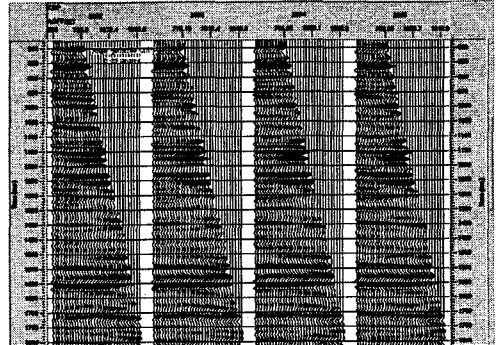


Fig.1 Incidence Angle gathered CDP gather

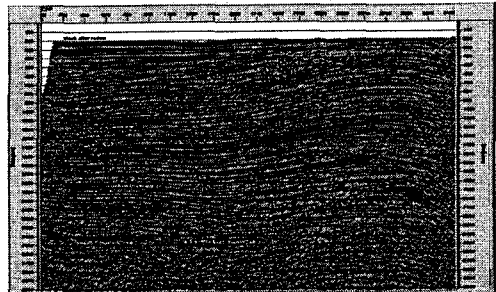


Fig.2 CDP stack section for determining the range of AVO analysis.

3. AVO 모델링

AVO 모델링은 P파속도, S파속도, 밀도 등 물리검층 자료와 물리검층자료를 이용하여 구한 포아송비를 이용하여 최초 인공탄성파 기록을 만들고 이를 탄성과 기록과 비교하여 일치 정도가 만족할 정도까지 인공탄성파 기록을 업그레이드하는 과정이다. AVO 모델링을 위한 입력자료는 1개 이상의 물리검층자료와 잡음제거를 위한 사전전산처리 과정을 수행한 그림 1과 같은 중합전 중심점모음이다. 그림 3은 고래-V 시추공의 물리검층자료를 AVO 프로그램 모듈인 Geoview에 출력한 것이다. 물리검층자료는 중심점 2546 지점으로 확인되었으며 검층자료의 종류는 P파속도검층, S파속도검층, 감마레이, 밀도검층 4가지 종류의 물리검층 자료를 사용하였다.

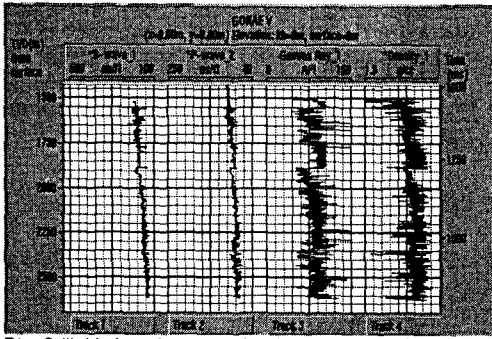


Fig.3 Well log data acquired from Gorae-V Well.

이와 같은 물리검층 자료가 입력되면 P파와 S파 검층 자료로부터 포아송비를 구한다. 포아송비의 검층자료는 프로그램에서 제공하는 음원파형과 진폭류선하여 인공탄성과 기록을 생성한다. 이때 사용된 파라메타 들은 탄성과 기록의 제원과 일치하여야 한다. 사용한 파라메타 중 중요한 것은 읍셋 : 16개, 읍셋범위 : 206-2300 m, 목표심도 : 2360-2380 m 등이다.

생성된 인공탄성과 기록은 실제의 탄성과 기록과 만족할 정도까지 일치하여야 한다. 이를 위해 인공탄성과 기록을 점점 향상시켜야 한다. 인공탄성과 기록과 탄성과 기록을 상호 비교해 보기 위해 탄성과 기록을 인공탄성과 기록과 같은 창에 입력시킨다. AVO 모델링 결과에 의한 인공탄성과 기록과 탄성과 기록은 여러 가지 면에서 차이가 있다. 특히 목표지점의 AVO 이상대는 많은 차이가 있음을 발견할 수 있다. 이와 같은 차이가 발생하는 요인으로는 우선 발파지연 보정(shot correction)을 수행하지 않은 것과 정확하지 못한 심도-주시시간 커브(depth-time curve)를 이용하여 인공탄성과 기록을 생성한 점을 들 수 있다. 즉, 인공탄성과 기록을 생성하는데 사용한 음원파형(Wavelet)을 현장탄성과 기록으로부터 추출하지 않은 것이기 때문이다.

이러한 인공탄성과 기록과 현장탄성과 기록의 차이를 보정하기 위해서 우선 현장탄성과 기록으로부터 음원파형을 추출하고 이 음원파형을 이용하여 검층자료와 상관(correlation)시켜 보정한다. 이를 위해 우선 현장탄성과 기록으로부터 음원파형을 추출하여야 하며 이를 위한 방법으로는 2가지 방법을 들 수 있다. 첫 번째 방법은 반사계수 log 자료와 현장탄성과 기록을 상호 비교하여 반사계수를 파형으로 변환하는 연산자를 계산하여 사용하는 방법이다. 그러나 현재까지 2가지 변수를 상호 상관시키는 알고리즘을 이용한 프로그램을 개발할 수 없기 때문에 실용화되지 못하였다. 두 번째 방법은 현장탄성과 기록만을 이용하여 진폭스펙트럼(Amplitude Spectrum)이 탄성과 기록과 일치하는 영위상(zero-phase) 음원파형을 계산하는 방법이다. 이 방법은 'Statistical Wavelet Extraction' 방법으로 불린다. 본 연구에서는 이 방법을 이용하여 음원파형을 구하였다.

실제로 탄성과 음원은 영위상파형(zero phase wavelet)이 아닌 최소지연파형(minimum phase wavelet)이다. 그러나 statistical wavelet extraction 방법에 의해 얻을 수 있는 음원파형은 영위상파형이므로 이 음원파형과 계산된 포아송비 로그자료를 상관하여 인공탄성과 기록을 얻는다. 이상의 방법으로 생성한 인공탄성과 자료는 프로그램에서 제공한 음원파형을 사용한 것에 비해 탄성과 자료와 일치 정도가 높은 것을 알 수 있다. 그러나 인공탄성과 기록과 현장 자료의 기록의 파형 위치가 일치하지 않는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상이 발생하는 원인은 심도영역의 로그자료로부터 계산된 인공탄성과 기록과 시간영역의 탄성과 기록간의 영역이 다르기 때문이다. 인공탄성과 자료와 탄성과 자료를 일치시키기 위해서는 심도-주시 대비표(Depth-Time curve)를 작성하여 인공탄성과 기록을 현장자료에 맞도록 확장시켜야 한다.

이를 위해 우선 검층자료를 자기상관(Auto correlation)시켜 계산한 인공탄성과 기록과 탄성과 기록을 자기상관 시킨 탄성과 기록을 생성시킨다. 생성된 2가지 탄성과 기록은 2-3지점의 조절점을 선택하여 인공탄성과 기록을 확장시킬 경우 탄성과 기록과 파형의 닮은 정도를 측정한다. 최적 인공탄성과 기록은 가장 높은 상호상관(Corsscorrelation)계수 값을 갖는 조절점을 이용하여 확장시킨 기록이 된다. 이때 상호상관 계수 1은 탄성과 기록과 인공탄성과 기록이 완벽하게 일치된다는 의미가 된다. 실제 탄성과 기록에는 잡음이 섞여 있음으로 0.5 이상이면 만족할 정도이다. 본 연구를 통해 구한 탄성과 기록과 인공탄성과 기록간의 상호상관 계수 값은 0.528이다.

이와 같은 과정을 통해 구한 최적 인공탄성과 기록은 유체포화율(Fluid saturation)을 적용하지 않은 탄성과 기록이다. 그러므로 AVO 이상효과를 나타내는 기록으로 타당하지 못하다. 유체포화율을 변화시켜가면서 인공탄성과 기록을 생성하여 AVO 이상현상이 탄성과 기록과 유사한 경우의 인공탄성과 기록을 최종 AVO 모델링 결과의 인공탄성과 기록으로 선택하고 이때 사용된 값을 고래-5 시추공 목표지점의 유체포화율 값으로 결정하였다.

그림 4는 이상의 AVO 모델링 과정을 수행한 후 구한 인공탄성과 기록을 탄성과 기록과 물리검층 자료와 대비시켜 출력한 그림이다. 이 그림에서 최종 인공탄성과 기록은 탄성과 기록과 만족할 정도의 유사도를 유지하고 있음을 알 수 있다.

4. AVO 해석 및 결론

AVO 해석을 위하여 AVO 모델링 결과로 구한 인공탄성과 기록과 탄성과 기록에 대해 AVO 속성 값을 조프리트 방정식을 이용하여 구하였다.

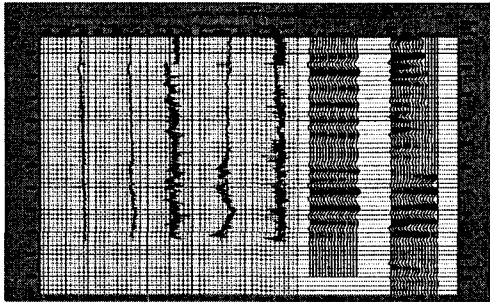


Fig.4 Final synthetic seismogram display with real seismic data and 5 kinds of well log data.

AVO 속성값 중 대표적인 영음셋 반사계수와 진폭크기변화도를 상호 교차 출력하여 AVO 이상구간을 분석하였다. 분석 결과 공심점 2546, 왕복주시 1550 ms 근방의 반사면 상의 AVO 이상구간이 존재함을 확인하였다. 이 이상구간은 AVO 역산 결과 AVO type III로 확인되었다.

References

- [1] Christ Ecker and David E. Lumley. Seismic AVO analysis of Methane hydrate structure.
- [2] Zoeppritz, K., 1919, Erdbebenwellen VIIIB, On the reflection and propagation of seismic waves.