

## 가스 하이드레이트 부존층의 구조 파악을 위한 탄성과 전산처리 및 AVO분석

정 부흥<sup>1)</sup>

### Seismic Pre-processing and AVO analysis for understanding the gas-hydrate structure

Bu-Heung Chung

**Key words** : gas-hydrate(가스 하이드레이트), BSR(가스 하이드레이트 층 하부경계면), AVO(옴셋거리 변화에 따른 진폭변화 분석)

#### Abstract

Multichannel seismic data acquired in Ulleung Basin of East Sea for gas hydrate exploration. The seismic sections of this area show strong BSR(bottom simulating reflections) associated with methane hydrate occurrence in deep marine sediments.

Very limited information is available from deep sea drilling as the risk of heating and destabilizing the initial hydrate conditions during the processing of drilling is considerably high. Not so many advanced status of gas hydrate exploration in Korea, the most of information of gas hydrate characteristics and properties are inferred from seismic reflection data.

In this study, The AVO analysis using the long offset seismic data acquired in Ulleung Basin used to explain the characteristics and structure of gas hydrate. It is used primarily P-wave velocity accessible from seismic data. To make a good quality of AVO analysis input data, seismic preprocessing including 'true gain correction', 'source signature deconvolution', twice velocity analysis and some kinds of multiple rejection and enhancing the signal to noise ratio processes is carried out very carefully.

The results of AVO analysis, the eight kinds of AVO attributes are estimated basically and some others of AVO attributes are evaluated for interpretation of AVO analysis additionally. The impedance variation at the boundary of gas hydrate and free gas is estimated for investing the BSR characteristics and properties. The complex analysis is performed also to verifying the amplitude variation and phase shift occurrence at BSR.

Type III AVO anomaly appearance at saturated free gas area is detected on BSR. It can be an important evidence of gas hydrate deposition upper the BSR.

---

1) 한국지질자원연구원

E-mail : [bhchung@kigam.re.kr](mailto:bhchung@kigam.re.kr)

Tel : (042)868-3401 Fax : (042)861-0264

# 1.서론

한국지질자원연구원은 동해 울릉분지 동남부 지역에서 가스 하이드레이트 탐사를 위해 다중채널 긴거리웍셋 스트리머를 사용하여 2차원 탄성파 탐사자료 취득하였다. 이 탄성파 탐사자료는 AVO 분석을 위한 사전전산처리를 수행하여 지층의 구간속도장, NMO보정된 공심점모음을 구하였다. 추가로 지층단면도를 제작하여 가스 하이드레이트 층과 천연가스 층의 경계면에서 형성되는 BSR의 분포지역을 확인하였다.

전산처리 과정은 기본전산처리 과정과 특수전산처리 과정으로 구별하여 수행하였다. 기본전산처리 과정은 가스 하이드레이트 층과 천연가스 경계면에서 탄성파 파형 위상이 변하기 때문에 생성되는 BSR(Bottom Simulating Reflector)이 강조되도록 전산처리 하였다. 각종 다중반사파를 제거하는 필터 또는 신호와 잡음의 비를 높이는 전산처리는 음원의 파형을 변화시킬 가능성이 높으므로 지층단면도 제작 시 필요한 최소한 전산처리 과정을 통해 각 축선의 지층단면도를 제작하는 것이다.

특수전산처리 과정은 기본전산처리 과정에서 제작된 지층단면도 상에서 나타나는 BSR 특징을 이용하여 BSR을 규명하고 규명된 BSR에 대한 물성을 분석하기 위한 것이다. 특수전산처리의 세부과정은 구간속도를 구하기 위한 대화식 속도분석과정, 심도구조보정 지층단면도 제작, 탄성파 복소수분석, AVO분석 및 정밀구간속도를 얻기 위한 MVA와 중합전 심도구조보정 지층단면도 제작하는 일련의 작업으로 구성된다.

본 보고서의 내용은 기본전산처리 과정에서 판명된 BSR에 대한 AVO분석을 수행하고 해석한 결과에 관한 것이다.

## 2. 전산처리

탄성파 자료는 자료 취득 지역의 지층특성이 모두 다르므로 사용목적과 대상지역의 지층특성에 맞게 전산처리를 해야 한다. 그러므로 전산처리 과정은 일정하게 고정된 단계가 없다. 그러나 일반적으로 기본전산처리 과정은 몇 가지 단계로 구별할 수 있으며 그 단계는 자료입력, 자료와 지형정보 일치, 지형 및 지연발파 보정, 신호 대 잡음비 향상, 탄성파 속도 분석, 중합, 시간구조보정 등으로 구분된다. 그림 1은 본 전산처리 과정을 흐름도 형식으로 제시한 것이다.

입력자료는 SEG-D 8058 형태로 10 Gbyte 저장용량을 가진 3590 카트리지 테이프에 기록되어 있다. 그림 2는 현장자료를 음원모음으로 출력한 것이다. 섹션 2,4번 구간의 신호에 이상이 보인다. 이상의 원인은 탄성파와 동시 전기신호가 가스파이크 형태로 기록되었기 때문이다. 이러한 현상은 신호 상부의 뮤트를 통해 제거되었다.

입력된 음원에 대한 각 트레이스에 지형정보를 기록하는 과정은 전산처리 시 이들 정보를 이용하여 전산처리 자료의 헤더블럭과 일치시켜 사용하므로 일반적인 전산처리 절차보다 우선하여 수행한다.

Basic 2D Seismic Processing Flow Chart

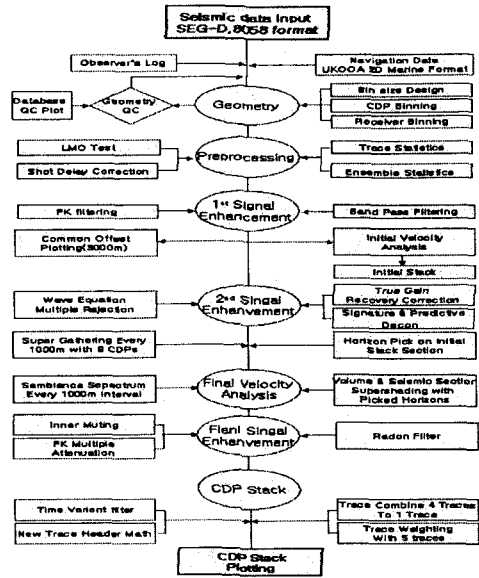


Fig.1 2D Seismic processing chart for AVO analysis

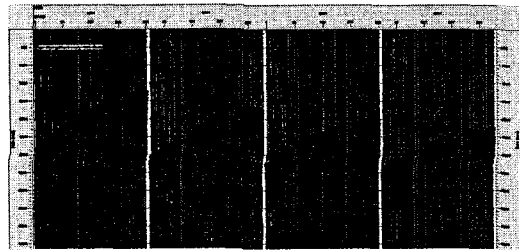


Fig. 2 Raw shot gather display

음원과 첫 번째 수신기사이의 간격은 100m 이다. 즉 바다물의 탄성파 전달속도는 1500m/sec 이므로 음원에서 첫 번째 수신기까지 해수면을 통과하여 전달된 신호는 주시 66~67ms 근방에 도달하여야한다. 현장자료의 음원모음에서 직접파의 도달신호를 확인한 바에 의하면 72ms 근방에 직접파의 신호가 도달하였다. 그러므로 본 자료의 음원의 지연발파에 의한 보정을 위해 4ms 정보정을 수행하였다.

해수면과 해저면 사이를 반복하여 진행하는 다중반사파 신호는 지층단면도 상부에 나타나는 가스 하이드레이트BSR 과 분리되어 나타나므로 BSR을 규명하는 과정에는 장애가 되지 않는다. 그러나 후부 심부 가스 근원암을 규명하기 위한 심부 지질구조를 해석이 가능한 지층단면도를 제작하기 위해서는 해저면 다중반사파를 제거하기 위한 전산처리 과정이 필요하다. 이를 위해 본 전산처리 과정에서는 해저면 다중반사파 제거를 위한 가장 강력한 도구로 알려진 WEMR(Wave Equation Multiple Rejection)과정을 수행하였다.

FK 필터를 수행한 결과는 해저면으로부터 500 ms 이내의 신호들은 잡음으로부터 잘 분리 하였다. 탐사지역의 지오서말 그레디언트의 경향에

의한 해석 결과에 의하면 BSR 존재가능 지역은 해저면으로부터 200-300 m 내외로 추정된다. 이와 같은 깊이는 탄성파 기록상 해저면으로부터 왕복주시 500 ms 이내의 기록에 해당하므로 FK필터를 수행한 공심점모음의 자료를 일차 속도 분석 및 중합자료로 사용하였다.

밴드패스 필터와 FK 필터를 수행한 공심점 모음에서 음속3000m의 트레이스를 선택하여 엔·엘·오 보정을 수행하고 중합한 지층단면도이다. AVO 이론에 의하면 지층반사면 하부에 천연가스가 존재할 경우 입사각의 증가에 따라 반사파의 진폭이 증가하며 그 각이 30°-35° 범위에서 최대점에 이른다. 그러므로 본 자료의 음속 3000m는 입사각 30° 근방이므로 음속 3000m 자료를 사용하여 중합단면도를 작성하였다. 그림 3에서 확인할 수 있는 바와 같이 지층단면도 전반에 BSR이 선명하게 나타남을 확인할 수 있다.

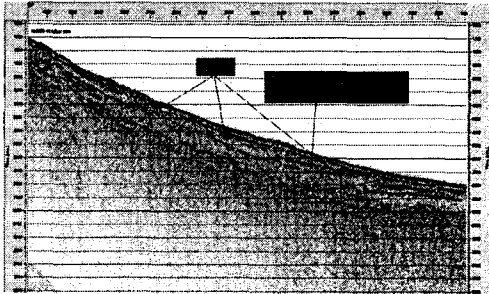


Fig-3 Common offset gather section with 3000 m offset

음원인 에어건의 최소위상 파형을 영위상 파형으로 변환하기 위한 시그니취 디콘을 수행하였다. 또 일관된 속도분석을 위해 중합단면도상에서 대표적인 6개의 반사면을 선택하여 중합속도 분석 조절지점으로 사용하였다.

그림 4는 중합속도분석을 수행하여 구한 중합속도합수를 디스 방정식을 이용하여 구간속도합수로 변환하고 구하고 6개의 지층 반사면과 같이 표시한 것이다. 전체적인 경향을 살펴보면, BSR 명명한 반사면을 기준으로 1200 m/s 이하의 구간속도를 갖는 층이 존재하며 그 두께는 왕복주시 20 ms 내외로 예측된다. BSR 상부에 1800 ~ 2400 m/s 구간속도를 갖는 층이 존재하며 층의 두께는 왕복주시 약 150 ms 이다. 하부는 다시 구간속도가 높아지며 그 값은 1800-3000 m/sec 이다.



Fig.4 Interval velocity volume display overlaying on seismic section

레이던 필터는 일반적으로 생성원인이 분명하지 않은 다중반사파를 제거하기 위한 전산처리 과정이다. 레이던필터는 최근접 트레이스와 최장거리 트레이스 사이의 무브아웃 값이 최소 30ms

이상일 경우에 1차반사파와 다중반사파가 분리되어 필터의 효과를 기대할 수 있다.

본 전산처리자료의 음속간격은 1037.5m 이다. 해저면으로부터 왕복주시 500 ms 구간의 최근접 트레이스와 최장거리 트레이스의 무브아웃 값은 100ms 내외이다. 그러므로 레이던 변환구간을 -50-100 ms으로 설정하여 레이던 변환을 하였으며 뮤트 구간을 20 ms 내외로 설정하여 수행하였다.

탄성파 자료 상에 존재하는 잡음을 제거하기 위해서 일반적으로 TX 영역 즉, 시간축과 거리축으로 표현되는 탄성파 자료를 신호와 잡음이 잘 분리되는 FK 또는 TO(Time-Offset)영역으로 되돌리는 방법을 사용한다. 엔엘오 보정된 TX영역의 공심점 모음 상의 반사면은 수평방향으로 일직선이다. 이를 FK영역으로 변환하면 주파수 축과 평행하고 파수(Wave Number)축은 0에 가까운 부분에 집중적으로 모인다. 그러므로 탄성파의 중합속도가 정확할 경우 이 방법을 이용하여 효과적으로 잡음과 다중반사파의 제거할 수 있다. 본 자료는 상부의 많은 균열대 때문에 지층의 연속성이 결여되어 있으며 많은 부분에 심한 회절파가 존재한다. 그러므로 양질의 중합단면도를 제작하기 위해서 FK 다중반사파 제거 과정을 수행하였다.

잡음 및 각종 다중반사파가 제거된 탄성파 자료와 중합속도가 준비되면 엔엘오 보정과 뮤팅을 수행하고 한 개의 공심점 모음을 한 개의 트레이스로 합치는 중합을 수행하여 지층단면도를 제작한다. 지층단면도 각 공심점 간의 거리는 6.25 m이다. 이 공심점 간격은 너무 조밀하여 지층단면도의 제작 후 지층의 획적 연속성을 추적하거나 변화를 규명하는데 적합하지 않다. 그러므로 4개의 공심점의 자료를 한 개 공심점으로 합치는 부분 중합 과정을 수행하여 매 트레이스 간격이 25m가 되는 지층단면도를 제작하였다. 부분중합 시 지층의 연속성을 향상시키기 위해서 5개 트레이스를 이용하여 가중치 부분 중합을 수행하였다. 또 고주파수 신호가 일찍 감쇠하는 현상을 보정하기 위한 TV(Time variant) 필터를 수행하였다. 이상의 일련의 과정을 수행한 지층단면도 자료는 마지막으로 각 공심점을 트랙차트의 각 스테이션 위치로 변환하고 지층반사면 전반에 고른 진폭 보정을 적용하는 과정을 수행하여 시간영역 공심점 중합 지층단면도로 제작된다. 이때 사용된 중합속도를 구조보정 속도로 변환하여 시간영역 구조보정 단면도를 제작하고 구간속도로 변환하여 심도영역 지층단면도를 제작한다. 그림 5는 심도보정 구조보정 단면도이다.

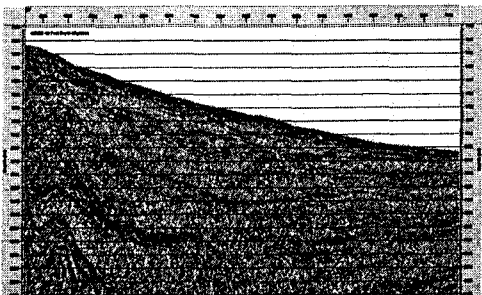


Fig. 5 Poststack depth migration section

### 3. AVO 분석

BSR의 AVO 분석은 BSR 하부의 천연가스 존재 여부를 판정하는 수단이 된다. AVO 이상은 탄성파의 반사면에 대한 입사각이 커짐에 따라 탄성파

의 진폭도 증가하는 현상이다. 이러한 현상은 S파와 P파의 함수인 포아송비의 BSR 상하부 층간의 차이에 기인한다. 즉 BSR 상부 층과 하부 층의 P파의 속도변화에 비해 S파의 속도변화 정도가 크므로 포아송비의 차이가 발생한다. 반사계수 파의 진폭 크기는 조프리트즈 방정식을 이용하여 구할 수 있다. 그림 6은 AVO분석의 흐름도이다.

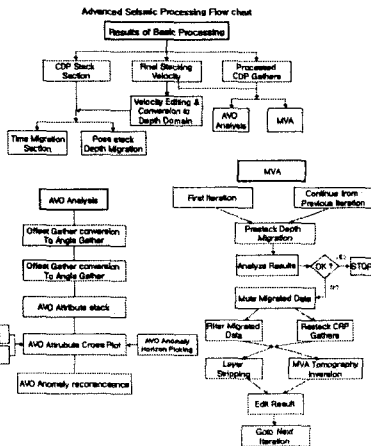


Fig.6 Flow chart for AVO analysis

AVO이상은 공통반사점 모음을 역산하여 구한 AVO속성값을 상호 대비하여 판정한다. AVO분석 과정은 다음 3단계로 나뉘어 수행한다. 첫 번째, AVO 입력자료인 공심점 대 음색 자료를 공심점 대 입사각으로 변환하는 과정이다. 둘째, 공심점 대 입사각 자료에 NMO보정을 수행하여 입사각 증가에 따른 트레이스 진폭 값과 진폭구배에 의한 중축 절편 값을 산정하여 9가지 AVO 속성 값을 각각 계산하는 과정이다. 마지막 세 번째 단계에서는 산정된 9가지 AVO 속성 값을 상호 대비 분석한다.

그림 7은 AVO 속성종합 결과 생성된 9가지 종합이다. 반사계수와 진폭구배 단면도에서 좌측추시 2350 ms부터 우측추시 2200 ms로 연결되는 BSR에서 강한 이상구간을 확인할 수 있다. 자료 품질에 관련된 5번과 7번 속성 값을 나타내는 각각 단면도에서 매우 양호한 품질 자료임을 확인할 수 있다. 특히, AVO 이상 발생 원인이 천연가스임을 확인할 수 있는 6번째 속성단면도와 천연가스층 존재가능성을 시사하는 함수속성 값 역시 BSR를 따라 높은 이상 값을 보인다.

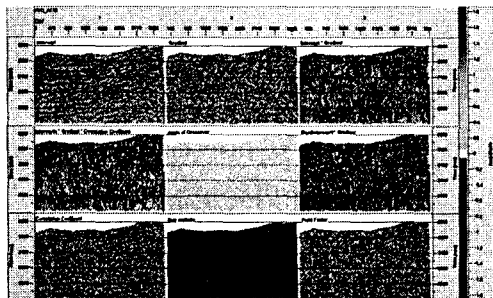


Fig.7 Nine kinds of AVO attributes estimated from the results of AVO attribute stack

BSR 하부의 천연가스에 의한 AVO이상으로 예상되는 +반사계수, +진폭구배 또는 -반사계수, -진폭구배 속성 값을 갖는 AVO 이상구간을 그

림 7 6번째 프레임 BSR 근방에서 확인하였다. 이 AVO 이상구간의 반사계수와 진폭구배에 대한 정량적인 분석을 위해 그림 8 같이 반사계수와 진폭구배에 대한 상관출력을 하였다.

그림 8 좌측 상단은 AVO 속성의 반사계수를 표시하였으며, 좌측하단은 진폭구배를 표시하였다. 좌측상단 반사계수 단면도에서 주황색 다각형 구간을 선택하면, 이 선택된 구간은 좌측하단 진폭구배 단면도에 동시에 나타나며 이 구간 내 모든 반사계수와 진폭구배가 우측상단 2차원 평면도표에 주황색 점으로 표시된다. 이 주황색 점 중에서 3상한 즉 반사계수와 진폭구배의 부호가 음수인 점을 청색 다각형으로 선택하면 반사계수와 진폭구배 단면도상의 해당 AVO 속성을 갖는 점의 위치가 청색사각형 점으로 표시된다. 청색 사각형 분포는 BSR 상의 일부 구간과 주황색으로 선택한 구간에 집중적으로 나타난다. 3상한 청색 다각형으로 선택한 구간의 AVO 이상대를 지시하므로 반사계수와 진폭구배 단면도 상에 나타나는 사각형 점은 AVO 이상대를 지시하는 결과가 된다. 즉 AVO 이상대는 BSR과 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

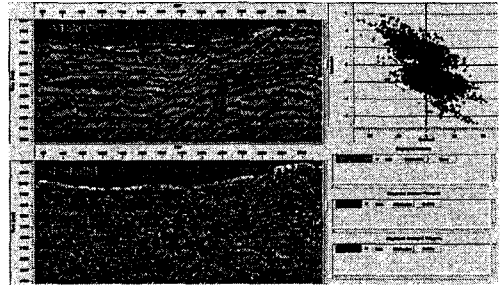


Fig. 8 AVO attribute crossplot of Intercept and gradient.

#### 4. 결론

전산처리는 기본전산처리와 특수전산처리 과정으로 구분하여 수행하였다. 기본전산처리 과정에는 지층단면도 제작과 탄성과 속도를 구하는 과정으로 구성되었다.

지층단면도는 BSR이 가장 잘 구별되는 3,000 m 음색 단면도를 비롯하여 종합단면도, 시간영역 구조보정 단면도, 심도영역 구조보정단면도를 제작하여 AVO 분석, 종합 전 심도 구조보정 단면도 제작 및 종합 전 심도 구조보정 단면도 제작을 위한 정밀 구간속도 분석 과정을 포함하였다.

AVO 분석을 통해 BSR 하부의 천연가스 존재 구간을 규명하였으며 BSR의 신뢰도를 높였다.