

## 가스 하이드레이트 부존층의 하부 경계면을 규명하기 위한 심도영역 탄성과 구간속도 분석

고 승원<sup>1)</sup>, 정 부흥<sup>2)</sup>

### Seismic interval velocity analysis on prestack depth domain for detecting the bottom simulating reflector of gas-hydrate

Seung-Won Ko, Bu-Heung Chung

Key words : Seismic interval velocity(탄성과 층간 구간속도), BSR(가스하이드레이트 층 하부 경계면), MVA(구조보정 속도분석), CMP(공통반사점), RMS velocity(중합속도), RMO(잔여부브아웃)

#### Abstract

For gas hydrate exploration, long offset multichannel seismic data acquired using by the 4 km streamer length in Ulleung basin of the East Sea. The dataset was processed to define the BSRs (Bottom Simulating Reflectors) and to estimate the amount of gas hydrates.

Confirmation of the presence of Bottom Simulating reflectors (BSR) and investigation of its physical properties from seismic section are important for gas hydrate detection. Specially, faster interval velocity overlying slower interval velocity indicates the likely presences of gas hydrate above BSR and free gas underneath BSR. In consequence, estimation of correct interval velocities and analysis of their spatial variations are critical processes for gas hydrate detection using seismic reflection data.

Using Dix's equation, Root Mean Square (RMS) velocities can be converted into interval velocities. However, it is not a proper way to investigate interval velocities above and below BSR considering the fact that RMS velocities have poor resolution and correctness and the assumption that interval velocities increase along the depth. Therefore, we incorporated Migration Velocity Analysis (MVA) software produced by Landmark CO. to estimate correct interval velocities in detail.

MVA is a process to yield velocities of sediments between layers using Common Mid Point (CMP) gathered seismic data. The CMP gathered data for MVA should be produced after basic processing steps to enhance the signal to noise ratio of the first reflections. Prestack depth migrated section is produced using interval velocities and interval velocities are key parameters governing qualities of prestack depth migration section. Correctness of interval velocities can be examined by the presence of Residual Move Out (RMO) on CMP gathered data. If there is no RMO, peaks of primary reflection events are flat in horizontal direction for all offsets of Common Reflection Point (CRP) gathers and it proves that prestack depth migration is done with correct velocity field.

Used method in this study, Tomographic inversion needs two initial input data. One is the dataset obtained from the results of preprocessing by removing multiples and noise and stacked partially. The other is the depth domain velocity model build by smoothing and editing the interval velocity converted from RMS velocity. After the three times iteration of tomography inversion, Optimum interval velocity field can be fixed.

The conclusion of this study as follow, the final Interval velocity around the BSR decreased to 1400 m/s from 2500 m/s abruptly. BSR is showed about 200 m depth under the seabottom.

1) 한국석유공사 기술실

E-mail : [gp1ko@knoc.co.kr](mailto:gp1ko@knoc.co.kr)

Tel : (031)380-2605 Fax: (031)385-2473

2) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부

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

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

## 1. 서론

탄성과 탐사자료를 이용한 가스 하이드레이트 탐사는 지층단면도 상에 나타나는 BSR 존재유무 확인과 BSR의 물성특성 규명이 중요한 관심 대상이다. 특히 BSR 상부의 빠른 구간속도와 하부의 느린 구간속도 분포는 BSR 상부에 가스 하이드레이트 부존과 하부에 천연가스 존재를 시사한다. 그러므로 탄성과 자료를 이용하여 정확하고 정밀한 구간속도를 구하고 그 변화 구간을 분석하는 과정은 가스 하이드레이트의 탐사에 있어서 매우 중요한 부분이다.

탄성과 구간속도는 RMS( Root Mean Square ) 속도로부터 디스방정식( Dix's equation )을 이용하여 변환할 수 있으나, 디스방정식의 심도 증가에 따라 탄성과속도가 증가한다는 전제 조건과 RMS 속도의 낮은 정확성 및 정밀도 때문에 BSR 상하부의 구간속도 변화를 규명하기에는 부적합하다. 그러므로 본 연구에서는 정밀하고 정확한 구간속도를 구하기 위해 미국 Landmark사가 제공하는 MVA( Migration Velocity Analysis ) 소프트웨어를 사용하여 구간속도를 구하는 방법을 시도하였다.

MVA는 공심점(Common Mid Point)모음을 이용하여 지층의 층간 구간속도를 구하는 일련의 과정이다. 이 때 사용되는 공심점모음은 지층의 1차 반사와 신호 대 잡음의 비를 향상시키기 위한 기본전산처리 과정을 마친 자료이다. 층간 구간속도는 종합 전 심도구조보정( Prestack depth migration )을 통한 지층단면도 제작을 위해 사용되며 구간속도의 정확도는 심도구조보정 지층단면도의 질을 좌우하는 중요한 파라미터이다. 구간속도의 정확도는 공심점모음에서 엔엠오( NMO, Normal Moveout )의 잔여 값의 존재여부를 조사하여 결정한다. 엔엠오의 잔여 값이 없다는 의미는 CRP( Common Reflection Point )모음에서 반사면의 파형 정점이 읍셋에 따라 횡방향으로 일치선상에 위치하는 현상을 말하며 이 때 엔엠오 보정을 위해 사용한 속도는 정확하다는 증거가 된다.

본 연구의 내용은 CRP 모음상에서 잔여노말무브아웃값이 만족할 정도에 도달하기까지 반복하여 구간속도의 정확도를 향상시키는 과정에 대한 설명이다.

## 2. 종합전 심도구조보정 구간속도분석(MVA)

### 2-1 초기속도모델 제작

MVA에서 지원되는 PSDM( Pre-Stack Depth Migration )을 위한 최적속도모델을 구하는 방법은 3가지이다. 첫 번째는 Layer stripping, 두 번째는 토모그래피 역산( Tomography inversion ), 세 번째가 Deregowski loop 방법이다. 본 연구에서 사용한 방법은 두 번째 토모그래피 역산방법이다.

토모그래피 역산은 두 가지 입력자료를 사용한다. 첫째, 잡음과 다중반사파를 제거한 탄성과 자료를 부분 종합하여 효과적으로 PSDM을 수행할 수 있도록 축소한 자료셋트와 둘째, 기본전산처리 과정에서 얻은 종합속도를 구간속도로 변환하고 고르기( Smoothing )와 편집과정을 거친 심도영역의 구간속도장이다.

그림 1은 종합속도장을 디스방정식을 이용하여 심도영역의 구간속도로 변환하고 고르기 과정을 거쳐 생성된 초기 속도모델과 이 속도모델을 이용하여 첫 번째로 제작된 종합전 구조보정단면도를 중첩하여 표시하였다. 또 지층단면도 상에서 지층의 속도변화를 유도할 수 있는 팔복한 만한 14개의 반사면을 중첩하여 표시한 그림이다. 초기 속도장은 정확도가 낮으므로 고르기구간을 크게 잡고 심도 증가에 따라 그 속도가 증가하는 형태를 초기속도모델로 결정한다.

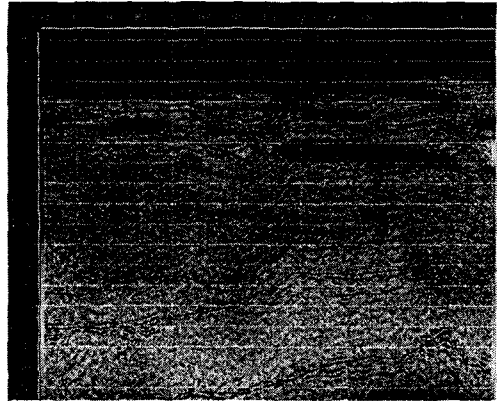


Fig. 1 Seismic initial velocity model and 14 horizons picked for evaluating the RMO overlaid on the first PSDM seismic section.

### 2-2 1차 종합전 심도구조보정 수행

이상의 방법으로 초기속도모델을 설계한 후 CRP 모음의 입력자료를 사용하여 공통오프셋영역( Common offset gather )에서 PSDM을 수행한다. 입력자료는 잡음과 다중반사파가 제거된 자료를 사용하여야만 최적 RMO 값을 선택할 수 있으며 성공적인 MVA 과정을 수행할 수 있다.

PSDM 수행결과는 CRP 모음에서 품질검사를 한다. 품질검사는 읍셋에 따른 반사면의 RMO 존재여부로 판정한다. 즉, CRP 모음의 자료는 NMO를 적용한 상태이므로 각 반사면의 파형의 정점이 읍셋에 따라 수평으로 일치선이 되어야 한다. 일치선 정도가 자료 전반에 걸쳐 만족할만한 정도면 MVA를 완료하고 이 때 사용한 속도를 최종속도모델로 선택한다. 일치선 정도가 만족스럽지 못하면 속도가 정확하지 않은 것이므로 토모그래피 역산과정에서 생성된 인위적인 잡음을 제거하는 뮤트, F-X 필터를 수행한 후 속도모델의 향상을 위한 다음 과정을 수행한다.

속도모델의 업그레이드를 위해 사용되는 자료는 RMO 값을 선택하기 위한 CRP모음, 업그레이드를 위한 속도모델과 PSDM을 수행한 지층단면도이다. PSDM 지층단면도는 MVA Xsection Window에 출력하여 반사면선택을 위해 사용된다. 이 때 선택하는 반사면은 속도변화를 유도하는 암실물성이 다른 경계면을 따라 선택하여야 하며 지층단면도 전체 속도장을 제어하도록 대표적인 지층반사면을 선택하여야 한다. 토모그래피 역산을 위한 반사면의 개수는 10-20개 정도가 적당하다. IHVA( Interactive Horizon Velocity Analysis )창의 4개 프레임에 나타나는 정보는 MVA Xsection Window에서 선택된 반사면과 연동하여 RMO 선택을 위해 사용된다. 이 작업은 선택한 반사면 전체에 대하여 반복 수행한다. 이 작업을 완료하면 선택한 반사면과 각 반사면의

RMO값을 얻는다.

### 2-3 토모그래피 역산

그림 2은 파선추적(Ray tracing)에 사용될 반사면과 토모그래피 역산에 사용될 RMO 값을 선택하는 과정을 설명하기 위한 그림이다. (a)는 지층 반사면을 선택하기 위해 MXW(MVA Xsection Window)에 초기 지층단면도와 초기 속도모형을 중첩하여 표시한 것이다. (b)는 IHVA창으로 4개의 프레임으로 구성된다. 첫 번째 프레임은 지층단면도의 선택반사면 근방의 단면도와 반사면 선택지점을 표시한다. 두 번째 프레임은 상 하 지층 간의 거리와 속도를 적용하여 해당 반사면을 수평이 되도록 시도한 창이다. 세 번째 프레임은 해당 CRP모음의 굵게에 따른 RMO 값을 표시하는 셈블런스(Semblance) 스펙트럼 창이며 네 번째 프레임은 RMO 값을 보정하기 위한 NMO 속도를 적용한 CRP모음의 출력이다. (a)와 (b)는 상호 대화식으로 운용된다. 즉 (a)창에서 반사면을 선택하여 (b)창으로 보내면 (b)창의 4개 프레임에 해당정보가 표시된다. (b)창의 세 번째 프레임에서 RMO 값을 선택하면 이 RMO 값을 최소화하는 구간속도가 산정되어 (a)창에 표시된다. (c)는 이상의 과정을 반복하여 선택한 14개 반사면 사이의 업그레이드된 구간속도를 표시한 것이다.



Fig. 2-a MVA Xsection Window displayed initial PSDM seismic section overlaid initial velocity model for horizon picking.

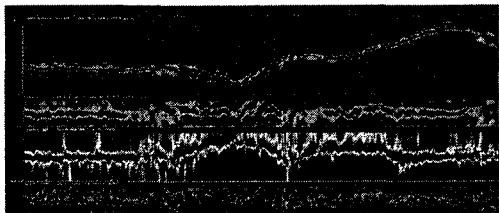


Fig. 2-b IHVA window picking for RMO. (a) Window and (b) Window work together by interactive method.

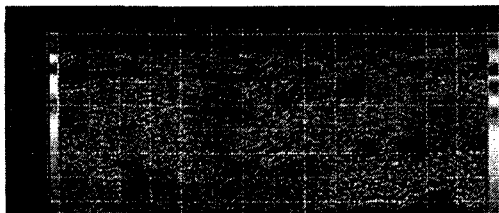


Fig. 2-c Upgraded velocity model by Layer Stripping method.

이상의 일련의 준비과정이 끝나면 속도모형의 업그레이드를 위한 주 전산처리 과정인 토모그

래피 역산을 수행하게 된다. 토모그래피 역산의 결과를 좌우하는 중요한 파라메타는 속도모형의 고르기구간(Smoothing range)과 역산구속강도(Inversion aggressiveness)이다. 일반적으로 사용하는 고르기구간과 역산구속강도 값은 비례한다. 즉, 역산 초기과정 시 속도모형의 정확도가 떨어질 경우에는 속도모형의 고르기구간과 역산구속강도를 크고 강하게 사용하여 속도모형의 업그레이드 변화폭을 크게 한다. 속도모형이 역산 반복 회수를 거듭하면서 정확도가 높아지면 고르기구간과 역산구속강도를 작고 약하게 사용하여 속도모형의 정밀도를 높인다.

토모그래피 역산 수행 시 결과에 중요한 영향을 미치는 초기속도모형의 고르기구간과 역산구속강도의 파라메타 값을 달리 적용하여 얻은 업그레이드된 속도장의 결과를 상호 비교하여 그 값을 결정한다. 본 연구에서는 3가지 파라메타를 적용하여 그 결과를 비교하였다. 첫 번째, 수평방향으로 500 m, 수직방향으로 50 m 속도장의 고르기구간과, 역산구속강도 값을 20로 사용하였으며, 두 번째는 1000, 100, 40, 세 번째는 3000, 200, 80의 파라메타를 적용하여 구한 결과를 상호 비교하였다. 그 결과 고르기구간이 크고 역산구속강도가 높은 값을 적용한 역산 결과는 전 탐사지역에 완만하면서 변화폭이 큰 업그레이드 속도장을 생성하였으며, 작고 낮은 파라메타를 사용한 경우에는 섬세하고 변화폭이 적은 업그레이드 속도장을 생성함을 알 수 있다. 그러므로 역산의 초기 반복의 경우에는 큰 구간의 고르기 파라메타 값과 높은 역산구속강도 값을 사용하여 토모그래피 역산 결과가 실제 지층의 속도에 큰 폭으로 근접하도록 하며, 역산속도가 실제의 속도에 근접한 경우에는 적고 낮은 고르기구간과 역산구속강도 값을 사용하여 미세한 속도변화를 조정한다.

토모그래피 역산은 4가지 입력변수 즉, 속도모형, 선택반사면, 선택 RMO 값, 파선추적결과를 이용하여 음원의 진행경로에 따라 RMO 값이 최소가 되는 속도를 계산하는 수학적 역산 해이다. 그러므로 지층의 구조와 논리적으로 일치하지 않는 값을 산출하는 경우가 많으므로 타당성 검토와 수정 과정이 꼭 필요하다. 토모그래피 역산은 두 종류의 속도장과 한 개의 파선밀도장(Ray density field)을 생성한다.

토모그래피 역산 결과 생성된 두 가지 속도모형 중 한 가지는 총 역산과정을 통한 업그레이드 속도장이다. 다른 한 가지는 해당 토모그래피 역산과정에서 업그레이드된 속도장이다. 즉 해당 역산 과정을 시작할 때의 초기 속도모형과 토모그래피 역산과정에서 변화된 속도장을 합친 것이 첫 번째 속도장이며, 두 번째가 해당 역산과정에서 업그레이드된 변화 속도장이다. 이와 같이 속도장을 통한 업그레이드 속도장과 해당 역산 업그레이드 속도장으로 구분하는 것은 해당 역산 업그레이드 속도장의 수정을 용이하게 하기 위함이다.

그림 3은 속도의 고르기 구간과 역산구속강도 파라메타를 1000, 100, 40으로 사용하여 얻은 업그레이드 속도장에서 초기속도모형을 변화속도장이다. 각 변화속도장은 해당 역산 과정에서 업그레이드된 속도장의 의미를 가지므로 순수한 고르기와 역산구속강도 파라메타 변화에 따른 토모그래피 역산의 결과를 조사할 수 있다.

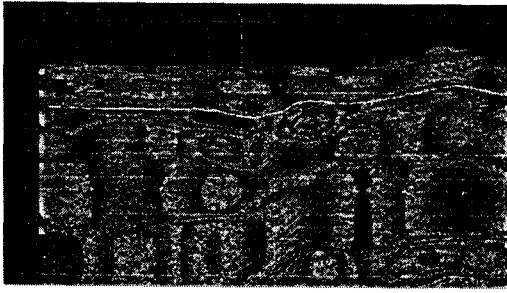


Fig. 3 Difference Velocity field.

토모그래피 역산 결과의 품질검사는 파선추적 과정을 이용한다. 파선추적은 속도모델과 선택 반사면을 이용하여 음원의 진행 경로를 결정하는 과정이다. 진행경로는 지층단면도를 가로 방향과 세로 방향의 일정한 크기로 분할한 단위격자 안으로 통과하는 것으로 정의한다. 음원은 해수면의 매 공심점 위치에서 발생시키며 선택 반사면에서 반사되어 수신기 구간(Offset range)안으로 되돌아오는 경우가 85% 이상 되어야 한다.

그림 4은 음원의 발파 위치와 수신기의 기록 위치를 음선에 따라 결정하고 선택반사면을 반사, 굴절하면서 진행되는 파선추적 결과를 이용하여 토모그래피 역산을 수행하여 얻은 파선밀도이다. 음원이 지층단면도를 가로와 세로축으로 할한 각 단위격자를 통과하는 회수를 계산하여 그 밀도를 색으로 표시한 그림이다. 이 밀도 값은 일반적으로 심도와 반사면의 경사각에 대한 함수이며 반사면의 경사가 작고 심도가 낮은 지점의 밀도가 높으며 이 지역의 토모그래피 역산 결과로 얻은 구간속도는 낮은 지역에 비해 상대적으로 그 신뢰도가 높다.

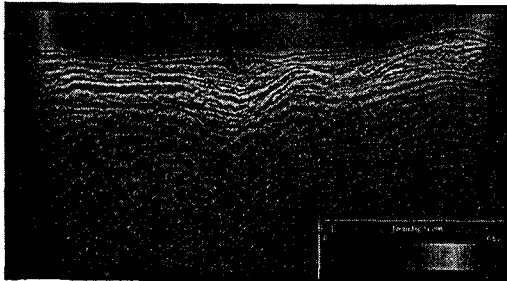


Fig. 4 Ray Density

해당 역산 업그레이드 속도장을 분석하여 토모그래피 역산 과정에서 인위적인 잡음이 과도하게 생성된 경우에는 지층구조에 가중치를 준 모델을 생성하고 이를 이용한 토모그래피 역산을 추가로 수행하여 인위적인 잡음이 억제된 해당 역산 반복 속도장을 구한다.

토모그래피 역산 결과의 수정은 변화속도장을 이용하여 수행한다. 즉, 토모그래피 역산의 결과인 변화 속도장은 수학적 연산의 해이므로 파라메타 값과 RMO 선택 값이 부적당하거나 반사면 선택이 잘못된 경우에는 지층의 탄성과 속도 범위를 벗어나는 부적절한 값이 산정된다. 이러한 값을 변화속도장으로 부터 제거하고 고르기한 변화속도장을 초기속도모델과 합치면 수정된 업그레이드 속도장을 얻는다.

속도장과 반사면의 스트레칭 과정은 같은 개념으로 심도영역의 지층위치는 시간영역 지층위치가 달라지는 현상을 보정하기 위한 보정과정이다. 수정된 업그레이드속도장을 얻게 되면 속도장과 반사면의 스트레칭 과정을 수행하여 속도모델과 반사면 그룹은 다음 역산을 위한 입력자료가 된다.

그림 5는 토모그래피 역산과정의 완료 여부를 판단하기 위하여 종합 전 심도구조보정 단면도 제작에 사용된 공심점모음을 매 30개 간격으로 출력한 그림이다. NMO 보정을 수행한 공심점모음에서 반사면의 RMO 값이 없거나 무시할 정도로 적은 경우, 반사면의 파형은 수평방향으로 잘 정돈된 일직선 형태가 된다. 이 그림에서 보는 바와 같이 단면도 전반에 걸쳐 대체적으로 좋은 정돈상태를 보인다.

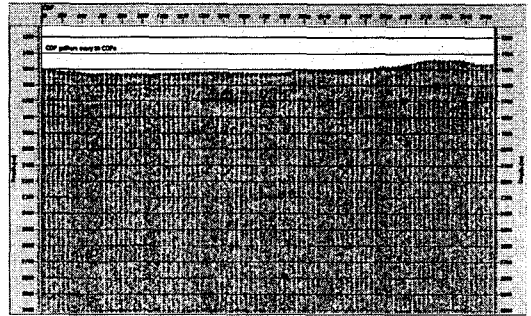


Fig. 5 CRP Gathers at every 30<sup>th</sup> CRP for Velocity QC.

### 3. MVA 수행결과 해석 및 결론

종합 전 심도구조보정 기술은 고성능 컴퓨터의 연산능력을 이용한 탄성과 전산처리 과정 중 가장 많은 컴퓨터 사용시간과 복잡하고 많은 파라메타 선정을 위한 지식과 경험이 필요한 전산처리 과정이다. 또, 지층단면도의 해석과 검증자료의 판독 및 사용 능력을 요구하는 최선 기술이다. 그림 6-a는 종합 후 심도구조보정 단면도이다. 6-b는 종합 전 심도구조보정 단면도이다. 이들 지층단면도를 상호 비교하여보면 BSR 연속성 및 반사면 식별이 MVA 기술을 사용하여 구한 속도모델을 사용한 그림 6-b의 경우가 그림 6-a에 비해 우월함을 알 수 있다

그림 7은 종합전 심도구조보정 지층단면도 상에 MVA 결과의 구간속도장을 중첩하여 출력한 그림이다. 축선의 좌측 심도 1750m 근방에서 시작하여 축선 우측 1630 m 근방으로 으로 연장되는 BSR 부근에 구간속도의 반전을 확인할 수 있으며 공심점 2000을 중심으로 좌우 300m 구간의 심도 1800-1850m 구간에 낮은 구간속도층이 보인다. 이층은 천연가스가 집적되어 부존되어 있는 것으로 사료된다.

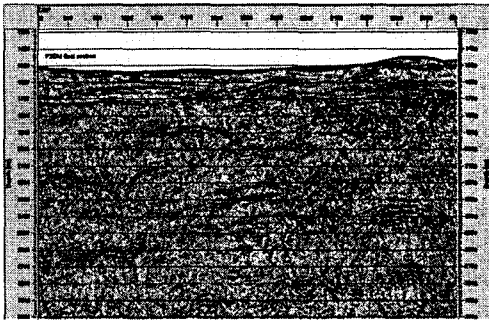


Fig. 6-a Poststack depth migration section

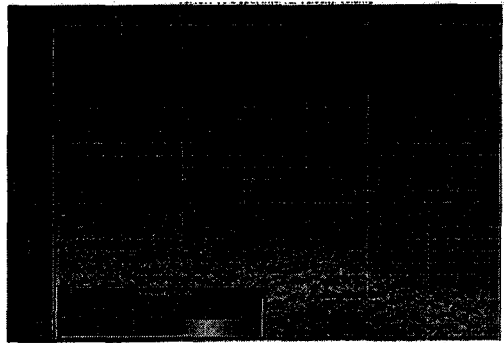


Fig. 7 Final interval velocity function display on prestack depth migration seismic section

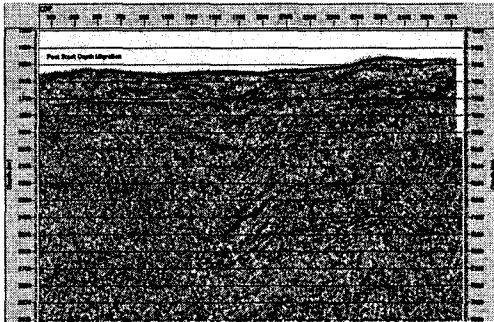


Fig. 6-b Prestack depth migration section using the interval velocity, which is evaluated by MVA.