

## 동해 가스 하이드레이트 탄성파자료의 중합전 심도 구조보정

장성형<sup>1\*</sup> · 서상용<sup>1</sup> · 고진석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 석유해저자원연구부, <sup>2</sup>조선대학교 자원공학과

### Prestack Depth Migration for Gas Hydrate Seismic Data of the East Sea

Seonghyung Jang<sup>1\*</sup>, Sangyong Suh<sup>1</sup> and Gin-seok Go<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Petroleum and Marine Resource

<sup>2</sup>Chosun University, Resource Engineering

In order to study gas hydrate, potential future energy resources, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources has conducted seismic reflection survey in the East Sea since 1997. one of evidence for presence of gas hydrate in seismic reflection data is a bottom simulating reflector (BSR). The BSR occurs at the interface between overlying higher velocity, hydrate-bearing sediment and underlying lower velocity, free gas-bearing sediment. That is often characterized by large reflection coefficient and reflection polarity reverse to that of seafloor reflection. In order to apply depth migration to seismic reflection data, we need high performance computers and a parallelizing technique because of huge data volume and computation. Phase shift plus interpolation (PSPI) is a useful method for migration due to less computing time and computational efficiency. PSPI is intrinsically parallelizing characteristic in the frequency domain. We conducted conventional data processing for the gas hydrate data of the East Sea and then applied prestack depth migration using message-passing-interface PSPI (MPI\_PSPI) that was parallelized by MPI\_local-area-multi-computer (MPI\_LAM). Velocity model was made using the stack velocities after we had picked horizons on the stack image with in-house processing tool, Geobit. We could find the BSRs on the migrated stack section were about at SP 3555-4162 and two way travel time around 2,950 ms in time domain. In depth domain such BSRs appear at 6-17 km distance and 2.1 km depth from the seafloor. Since energy concentrated subsurface was well imaged, we have to choose acquisition parameters suited for transmitting seismic energy to target area.

**Key words** : gas hydrate, prestack depth migration, MPI\_PSPI, bottom simulating reflector

한국지질자원연구원은 1997년부터 새로운 에너지 자원으로 활용 가능성을 포함하고 있는 가스 하이드레이트를 조사하기 위해 동해 일원에서 탄성파탐사를 실시하고 있다. 탄성과 반사자료로부터 가스 하이드레이트 부존여부를 확인하는 방법은 해저면과 평행하면서 위상이 반대로 나타나는 고진폭 반사파 Bottom Simulating Reflector (BSR)과 BSR 상부에서의 진폭감소, 하부에서 진폭증가와 구간속도 감소 등을 들 수 있다. 대용량 탐사자료로 구성된 탄성과 반사자료에 깊이영역 구조보정을 적용하기 위해서는 고성능 컴퓨터와 병렬처리 기술이 필요하다. PSPI법은 적은 컴퓨터 계산량과 효율성 그리고 주파수 영역에서 구조적으로 병렬화가 용이한 특성을 지니고 있어 구조보정에 많이 이용되고 있다. 여기에서는 동해 가스 하이드레이트 탄성과 반사자료에 대한 일반자료처리와 함께 BSR로 여길 수 있는 구간에 대해 message passing interface\_local area multicomputers(MPI\_LAM)으로 병렬 코드화된 MPI\_PSPI를 이용하여 깊이영역 중합 전 구조보정에 적용하였다. 중합 전 깊이영역 구조보정 입력자료를 위한 속도모델은 자체 개발된 지오빗을 이용하여 중합 단면도로부터 지층경계면을 구하고 중합속도를 이용하여 제작하였다. BSR은 시간영역 구조보정 된 중합 단면도상에서 음원모음도 3555-4162 사이와 왕복주시 2950 ms 부근에서 확인되지만 깊이영역 단면도에서는 해수면 6km에서 17 km 사이, 해저면에서 약 2.1 km 깊이영역에서 나타남을 알 수 있다. 또한 구조보정 결과 반사파 에너지가 집중되는 지점에서 영상화가 잘 이루어지므로 관심대상 지역에 에너지를 많이 보낼 수 있는 자료취득변수를 결정해야 함을 알 수 있다.

**주요어** : 가스 하이드레이트, 중합전 심도 구조보정, MPI\_PSPI, 해저면 기인 고진폭 반사파

\*Corresponding author: jang@kigam.re.kr

## 1. 서 론

가스 하이드레이트는 고압 저온 조건하에서 물과 메탄가스가 결합하여 형성된 고체상 화합물로 영구 동토 지역과 수심이 깊은 해저의 천부 퇴적층에 광범위하게 분포되어 있는 것으로 알려져 있다(Makogon, 1997). 가스 하이드레이트의 부존확인은 탄성과 단면도에 나타나는 BSR, AVO 해석 그리고 시추자료로부터 직접 확인하는 방법 등이 있다. BSR은 해저면과 평행하면서 위상이 반대로 나타나는 고진폭 반사파로 상부에서는 진폭이 감소하고 하부에서는 진폭이 증가하는 현상을 보인다(Shipley *et al.*, 1979; Andreassen *et al.*, 1997). 또한 가스 하이드레이트는 퇴적층의 구간속도를 증가시키는 역할을 하여 BSR 상부에서는 구간속도가 증가하고 하부에서는 구간속도 감소를 나타낸다(Stoll, 1974; Dillon and Paul, 1983). AVO 분석(Ostrander, 1984; 양동우와 양승진, 1996)은 BSR 상부 및 하부에서 발생하는 진폭변화 현상 규명에 이용되어 가스 하이드레이트 부존여부를 판단하는 지시자로 이용되기도 한다.

석유 및 가스전 탐사에 주로 적용되는 탄성과탐사 자료는 자료취득 기술발달로 기록간격 1ms, 240 채널 이상 다중채널, 8sec 이상 기록이 가능하며 그 자료량이 방대해져 가고 있다. 취득된 자료로부터 지층단면을 제작하기 위해서는 자료처리기술이 적용되어야 하며 이때 방대한 자료를 취급하기 위한 적절한 컴퓨터 기술도 함께 필요하다. 특히 시간영역이 아닌 실제 깊이로 표현되는 깊이영역 지층단면을 구하는 데 이용되는 종합 전 구조보정은 파동외삽이나 파동 역전파를 실시할 때 모든 음원 모음도를 입력자료로 이용하기 때문에 많은 자료 입출력 시간과 보조기억장치, 많은 컴퓨터 계산량, 고성능 네트워크 등이 요구된다. 따라서 이를 위한 병렬 코드화가 요구되며 근래 컴퓨터기술의 발전으로 범용 PC에서도 기술구현이 가능하게 되었다.

탄성과 탐사에서 지층구조를 실제 지층구조로 되돌리는 과정인 탄성과 구조보정은 종합 전 구조보정과 종합 후 구조보정으로 나눌 수 있으며 단층, 습곡, 압염 돔 등 복잡한 지형에 대한 구조보정을 위해서는 종합 전 구조보정이 주로 이용된다. 구조보정은 파동장을 구하는 방법에 따라 주시를 이용하는 방법과 파동방정식을 이용하는 방법으로 나눌 수 있으며 주시를 이용할 경우 빠른 계산시간을 장점으로 들 수 있으나 복잡한 지형에서는 여러 방향 도달파가 발생하여 주시 계산에 어려움이 있다(Nichols, 1996). 파동방정식을 이용하는 방법은 일방향 파동방정식(Gazdag and

Sguazzero, 1984; Stoffa, *et al.*, 1990) 과 완전파형 파동방정식을 이용하는 것(Loewenthal, *et al.*, 1976; Whitmore, 1983)으로 나눌 수 있으며, 일 방향 파동방정식을 이용하는 경우 빠른 계산시간과 효율성으로 많이 이용되지만 압염 돔 하부 구조를 영상화하는데 한계를 지니고 있다. 한편 완전파동방정식을 이용하는 구조보정은 가장 정확한 구조보정 결과를 보여주지만 가장 많은 계산이 필요하다. 여기에서는 PSPI(Gazdag and Sguazzero, 1984)를 MPI\_LAM을 이용하여 개발된 MPI\_PSPI 코드를 이용하여 동해 가스 하이드레이트 탄성과자료에 대해 종합전 심도 구조보정을 적용하고 깊이영역에서 지층단면을 구하고자 한다. 연구대상자료에 대한 기본 자료처리를 자체 개발된 지오빗(서상용, 2005)을 이용하여 실시하였으며 반복적 속도스펙트럼을 구하는 방법으로 종합속도를 정밀하게 구하여 이로부터 종합단면을 구하는데 적용하였다. 기본 자료처리가 적용된 음원 모음도(shot gather)를 깊이영역 구조보정에 필요한 입력자료로 준비하였다. 깊이영역 구조보정에 필요한 속도모델을 제작하기 위해 종합 단면도로부터 지층경계면을 결정하고, 종합속도로부터 속도모델을 결정하였다.

## 2. 자료처리

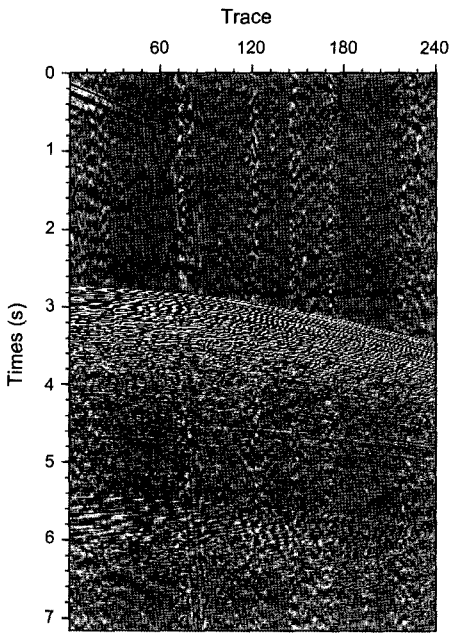
석유 및 가스 부존 지역과 마찬가지로 가스 하이드레이트 부존지역은 상·하지층의 지질학적 물성이 크게 다른 지역으로 탄성과 반사자료를 처리할 때 일반적인 자료처리 과정 외에 정밀자료처리 기술이 필요하다. 일반적인 자료처리 과정으로는 트레이스 편집, 무팅, 구형확산 보정, 종합 전 디컨볼루션, 주파수 대역 필터링, 공심점 분류, 속도분석, 동보정, 종합 등이 있다. 정밀자료처리 과정으로는 정밀속도분석, 탄화수소 직접탐지 단면도, 복소 단면도, AVO 분석 등을 들 수 있다. 여기에서는 한국지질자원연구원에서 개발된 자료처리 프로그램인 지오빗을 이용하여 기본 자료처리와 특수 자료처리 중 하나인 반복적 정밀 속도분석을 수행하였다.

### 2.1. 현장자료 및 기본 자료처리

한국지질자원연구원에서는 가스 하이드레이트 부존여부를 조사하기 위한 탄성과 탐사를 통해 일원에서 실시하였으며 현장자료에 대한 취득변수는 Table 1에 있다. 연구대상 축선은 음원번호 969부터 6436까지 5,468개의 음원 모음도로 이루어져 있다. 현장자료는 샘플

**Table 1.** Field data acquisition parameters for gas hydrate.

Acquisition Parameters	value
Record length	7169 msec
Sample rate	1 msec
No. of Groups	240
Group interval	12.5 m
Shot point interval	25 m
Offset(center source to near trace)	50 m
Recording filter	LC filter/slope: 5 Hz/18dB HC filter/slope: 360 Hz/72dB
Tape format	SEG-D(8048)
Far offset	3037.5 m

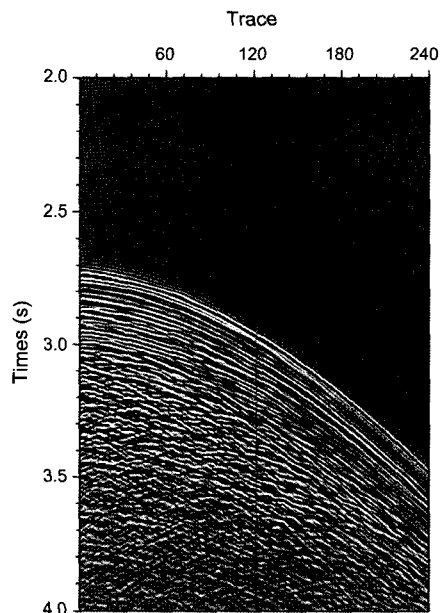


**A shot gather SP 3400**

**Fig. 1.** A field shot gather at shot point 3400.

링 간격을 2 ms로 재구성하였으며 이중 음원번호 3400에서의 단면도를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보듯이 해저면 반사파가 2.85 sec 부근에서 나타나 해저면 깊이가 약 2,100 m 정도임을 보여주고 해저면 다중 반사파가 약 5.7 sec 에서 나타난다. 또한 수진기 70번, 120번, 230번 부근 등에서 해수이동에 의한 스웰(swell) 잡음 등이 나타남을 알 수 있다. 음원 모음도에 트레이스 뮤팅, 진폭보정, 디콘, 대역 필터링 등 기본 자료처리를 적용한 결과는 Fig. 2에 있으며 이때 이용된 자료처리 변수는 Table 2에 있다.

기본 자료처리 과정이 끝나면 속도분석과 동보정(NMO correction)을 위한 공심점 분류(CDP sorting)



**Fig. 2.** A preprocessed shot gather at SP 3400.

**Table 2.** Preprocessing modules and parameters.

Preprocessing modules	parameters
Resampling	2 ms
Amplitude correction	8 dB
Deconvolution: operator length	80 ms
: lag	120 ms
Band-pass filtering	8-12-90-120 Hz

를 실시한다. 깊이영역 구조보정 입력자료는 음원모음도와 속도모델로 탄성파 반사자료로부터 속도모델을 구하기 위해서는 속도분석과 중합단면도가 필요하다. Table 1에서 보듯이 연구 대상자료는 음원간격이 수진기 간격의 2배이고 수진기 수가 240 이므로 최대 공심점 모음도 트레이스는 60 폴드가 됨을 알 수 있다. 이때

공심점 간격은 6.25 m로 음원 간격이 공심점 간격의 4 배가 되어 공심점 번호는 “음원번호 × 4- 수진기번호 +1”로 결정된다. 연구 대상자료의 경우 공심점은 21,872개가 된다.

## 2.2. 정밀속도분석 및 종합단면도

일반적으로 모든 공심점 모음도에 대해 속도분석을 실시하는 것은 많은 시간과 노력이 필요하다. 단층, 급경사, 암염 돔, 층서구조 등 복잡한 지형을 제외하고는 실제 지층구조가 급격한 변화를 보이지 않으므로 대부분 속도분석을 위한 공심점 간격을 1 km 또는 2 km 내외를 유지하면서 실시한다. 관심대상 자료의 전체 공심점 개수는 21,872개로 공심점번호 500마다( $500 \times 6.25 \text{ m} = 3,125 \text{ m}$ ) 9개의 공심점 모음도를 선택하여 슈퍼게더(super gather)를 생성하고 이를 속도분석을 위한 입력자료로 이용하였다. 속도분석에서 정확한 속도를 구한다는 것은 정확한 속도 스펙트럼을 계산하는 것을

의미한다. 지오빗은 속도 스펙트럼을 계산할 때 NMO 신장이 일어나는 부분을 제거한 후 반복적으로 속도 스펙트럼을 계산할 수 있는 모듈을 지니고 있어 보다 정확한 종합속도를 구할 수 있다(서상용 등, 1996). 대표적인 속도분석 결과는 Fig. 3에 있다. 그림 왼쪽에는 속도스펙트럼과 샘플런스 최대값에 해당하는 종합속도, 그리고 Dix 방정식에 의한 구간속도를 나타내고 있으며, 그림 오른쪽에는 NMO 보정된 슈퍼게터를 보여 준다. 2.9 sec와 3.3 sec 사이에서는 구간속도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 모든 슈퍼게터에 대한 속도분석이 끝난 후 종합속도는 NMO 보정에 이용되고 시간영역 지층단면도인 종합단면도가 완성된다(Fig. 4). 그림에서 보듯이 음원번호 996-2270 구간에서는 왕복 주시 400 ms~2800 ms 사이에서 해저면이 점점 깊어지는 모양을 보이고 있으며 이후로는 수평을 이루고 있다. 탄성과 반사자료에서 가스 하이드레이트 부존 여부를 확인하는 방법으로는 해저면과 평행하면서 위상

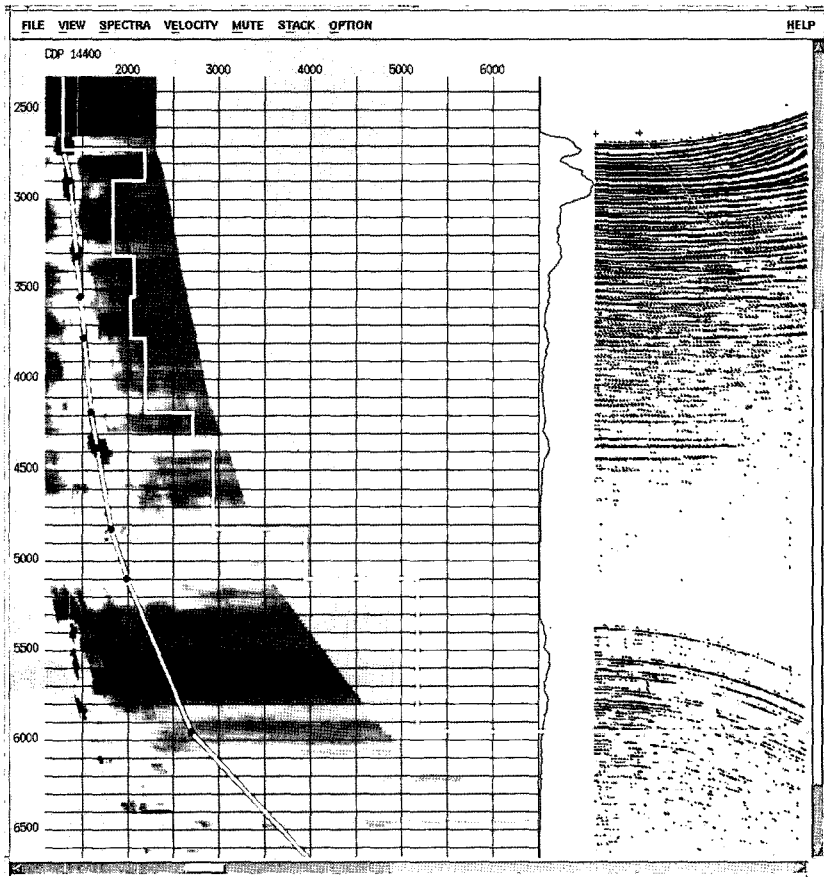


Fig. 3. A velocity spectrum, stack velocity, and interval velocity with a NMO correction applied to supergather.

이 반대로 나타나는 고진폭 반사파인 BSR과 BSR 상부에서의 진폭감소, 하부에서 진폭증가와 구간속도 감소 등을 들 수 있다. 이러한 가능성을 보여주는 음원 번호 3400-4400 구간을 확대하여 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보듯이 음원번호 3555-4162, 왕복주시

2950 ms 전후로 해지면 반사파와 역전된 위상 그리고 고진폭 반사파가 연속됨을 보여주고 있다. 본 연구에서는 SP 3400-4400 구간을 선정하여 깊이영역 구조 보정을 실시하고자 한다.

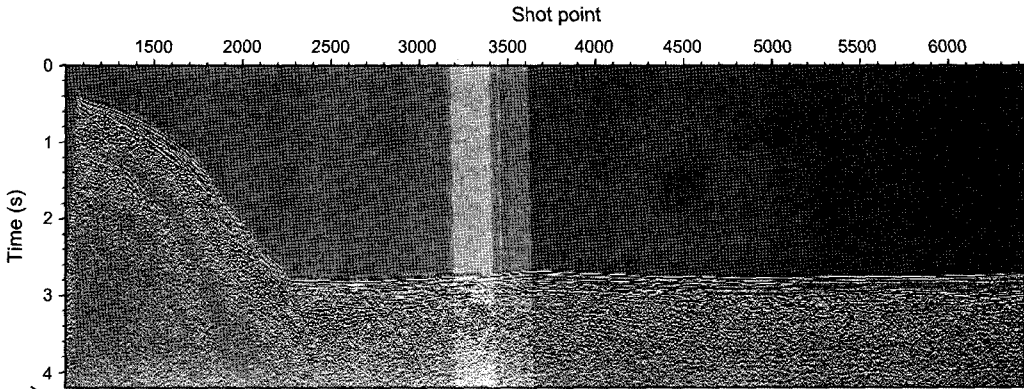


Fig. 4. Stacked section.

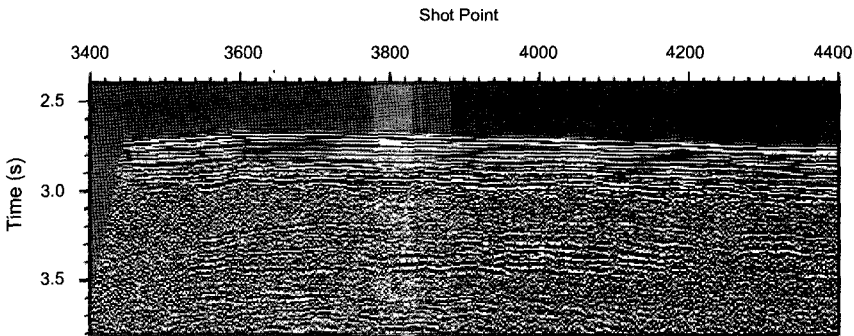


Fig. 5. A selected segment for the prestack depth migration in time section.

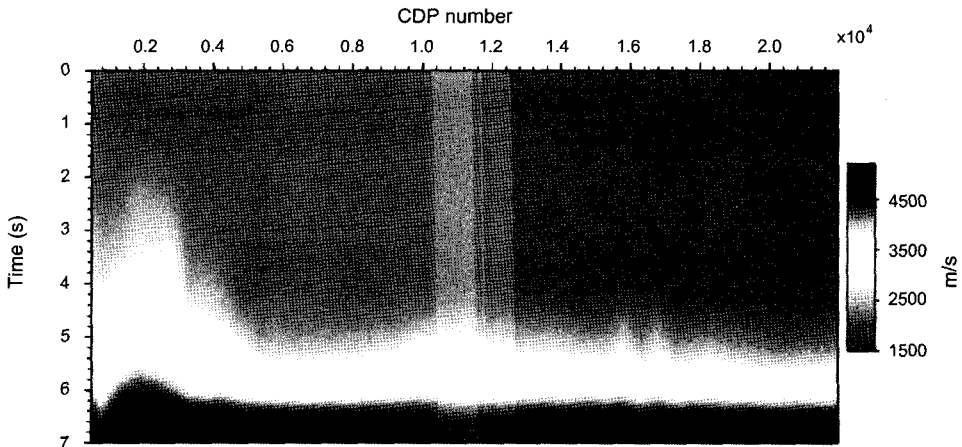


Fig. 6. A velocity model from stack velocities.

**2.3. 속도모델**

중합전 심도 구조보정을 위한 입력자료 중 가장 중요한 속도모델은 중합단면도와 중합속도 또는 구간속도를 이용하여 구한다. 속도분석 결과인 중합속도로부터 구한 전 구간 속도단면도를 공심점 간격을 10 개씩, 시간축 간격을 200 ms으로 하여 각각 평활화하여 시간-공심점번호 영역으로 Fig. 6에 나타냈다. 중합속도변화는 1500 m/s에서 5000 m/s 사이에 분포하고 있으며 공심점 번호 5015 까지는 점차적으로 해저면이 점점 깊어지고 이후 큰 변화가 없음을 보여준다. 중합 전 구조보정을 적용하기 위해 해저면 반사파와 위상이 반대이면서 진폭이상대가 존재하는 구간인 음원번호 3400-4400 구간에 대해 현장구조와 적합한 모델크기와 구조 그리고 속도모델을 구하고자 하였다. 자료취득 시 적용된 음원간격(25m), 수신기 간격(12.5 m), 그리고 최근접 트레이스 간격(50 m)을 고려하고 중합단면도상에서 해저면과 지층경계면을 결정하고 중합속도를 적용하여 6개의 지층구조로 이루어진 초기 속도모델을 제작하였다(Fig. 7). 속도모델 크기는 가로방향 28 km, 세로방향 4 km이며, 격자간격은 6.25 m × 6.25 m로 격자수는 각각 4487 × 641개이다. 각 층의 속도는 해수층에서부터 1500, 1550, 1800, 2000, 3000, 3500 m/s로 하였으며, 각 층에서 수평속도변화는 일정하게 하였으며 수직방향 속도변화는 깊이에 대한 속도변화율이 0.1 인 속도모델을 이용하였다.

**2.4. 깊이영역 중합 전 구조보정**

파동방정식을 이용하는 중합 전 구조보정은 구조적

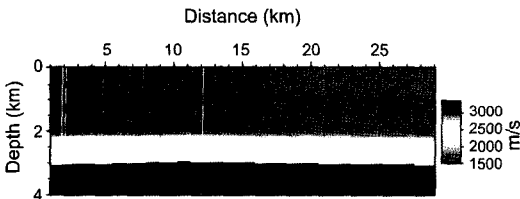


Fig. 7. A selected velocity model for prestack depth migration.

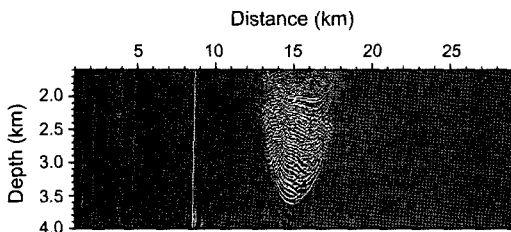


Fig. 8. A single image gather after applying MPI\_PSPI.

으로 영역 분해 병렬구조 특성(Bonomi *et al.*, 1998)을 지니고 있어 코드 병렬화가 자연스럽게 이루어진다. 주파수 영역에서 깊이 영역 외삽이 모든 계산노드에서 동시에 수행하고 각각 음원에 대하여 구한 영상들은 마스터 노드에 전제해 합한 후 깊이영역 지층단면도를 구한다. 여기에서는 MPI\_PSPI를 이용하여 깊이영역 중합 전 구조보정을 실시하고자 한다. 가스 하이드레이트 탄성과 자료에 대한 깊이영역 구조보정은 기본 자료처리가 끝난 음원 모음도를 직접 입력자료로 이용한다. 연구대상 축선 중 음원번호 3400에서 4400까지 1001개에 대해 중합단면도로부터 구한 속도모델을 적용하여 구조보정을 실시하였다. 음원 3900(해수면 약 15 km)에서 병렬코드에 의한 구조보정결과는 Fig. 8에 있다. 본 그림은 기본 자료처리가 끝난 음원 모음도 3900번을 입력자료로 하여 수직속도변화에 대한 1차 위상이동을 적용하고, 수평방향 속도변화에 대한 2차 위상이동을 실시한 후 내삽을 적용하여 구한 지층단면도이다. MPI\_PSPI에서는 위상이동을 실시할 때 모든 계산노드에 분산하여 실시하고 계산이 끝나면 마스터 노드에 모이게 하여 영상을 구하게 된다. Fig. 8은 깊이영역 지층단면도로 15 km 전후 하부가 주로 영상화된 것으로 이부분에 주로 탄성과 에너지가 집중되었음을 의미한다. 이용된 컴퓨터 시스템은 각 노드가 3.2 GHz P4 CPU, 6 GB 메모리, 200 GB HDD로 구성되어 있으며, 전체 21 노드, 42 개 프로세서를 갖춘 리눅스 PC 클러스터이다. 각 노드 간 통신시간을 최소화하기 위해 기가비트 스위치 장치를 이용하여 각 노드를 연결하였다. 1개 음원에 대한 구조보정 계산시간은 954 sec 였다. 위와 같은 방법으로 모든 음원 모음도에 대해 계산노드에서 파동외삽을 실시하고 각각 음원 모음도에 대한 지층영상을 구하고 마스터 노드에서 모든 지층영상을 더하면 최종 깊이영역 지층단면도를 구할 수 있다(Fig. 9). 여기서 깊이 함수로 표현되는 지층단면도로 지표면 6 km에서 17 km 사이,

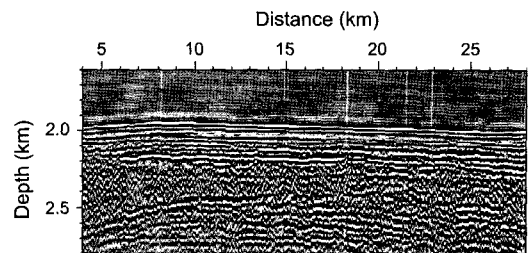


Fig. 9. Depth section for shallow gas, associated with 1001 single image gathers.

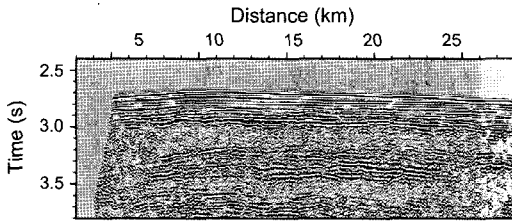


Fig. 10. A selected segment for the prestack depth migration.

해저면 약 2.1 km 부근에서 해저면과 평행하게 발달하면서 위상이 반대로 나타나는 고진폭 이상대를 보여주는 BSR의 존재를 확인할 수 있다. 종합 단면도 경우 BSR은 음원번호 3553-4162, 왕복주시 2950 ms와 같이 시간영역으로 표현된다(Fig. 10). 위와 같이 종합전 구조보정 결과인 지층단면도는 깊이영역으로 표현되므로 자료해석시 유용하게 활용될 수 있다.

### 3. 결 론

탄성파 자료는 자료 양이 방대하여 자료처리를 실시할 때 코드 병렬처리가 필요하며 여기에서는 MPI\_LAM을 이용한 병렬코드 MPI\_PSPI를 이용하여 깊이영역 종합 전 구조보정을 동해 가스 하이드레이트 탄성파자료에 적용하였다. 종합 전 구조보정을 위한 입력자료는 음원모음도와 속도모델로 음원모음도에 대해 진폭보정, 디콘볼루션, 필터링 등 기본적인 자료처리를 실시하였으며, 반복적으로 속도스펙트럼을 구하여 NMO 속도를 정확하게 결정하고 종합단면도를 제작하였다. 종합 단면도로부터 BSR 특성을 보이는 지역을 선정하고 지층경계면과 모델크기를 28×4 km(격자간격 6.25×6.25 m)를 결정한 후 종합속도를 이용하여 속도모델을 제작하였다. 종합 전 구조보정에서는 음원 모음도에 대한 파동장 외삽을 실시할 때 적용되는 1차 및 2차 위상이동을 모든 계산노드에 분산하여 실시하고 결과를 마스터 노드에 취합하며 각 음원 모음도에 대한 영상을 모두 합하여 깊이영역 지층 단면도를 제작하였다. 종합단면도상에 나타나는 BSR은 음원번호 3555-4162 사이, 왕복주시 2950 ms과 같이 시간영역으로 표현되지만 종합 전 구조보정 결과는 지표면 6 km에서 17 km 사이, 해저면 약 2.1 km 부근에서 BSR을 확인할 수 있는 깊이영역 지층단면도를 제작하여 탄성파자료 해석에 필요한 자료를 제공하고자 하였다. 또한 구조보정 결과 반사파 에너지가 집중된 곳에서 영상이 뚜렷하게 보이는 점을 고려할 때 관심지역에 에너지가 강화될 수 있도록 취득변수를 결정해야 함을 알 수 있다.

## 사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 산업자원부 출연사업인 ‘가스 하이드레이트 지구물리탐사연구’ 과제에서 지원되었습니다.

## 참고문헌

- Andreassen, K., Hart, E.H. and MacKay, M. (1997) Amplitude versus offset modeling of the bottom simulation reflection associated with submarine gas hydrate. *Marine Geology*, v. 137, p. 25-40.
- Bonomi, E., Brieger, L., Nardone C. and Pieroni, E. (1998) PSPI: A scheme for high-performance echo reconstruction imaging. *Computers in Physics*, v. 12, p. 126-132.
- Dillon, W.P. and Paull, C.K. (1983) Marine gas hydrate-ii: geophysical evidence. In: *Natural Gas Hydrates: Properties, Occurrence and Recovery* (Ed. J. L. Cox), Butterworth, Boston, p. 73-90.
- Gazdag, J. and Sguazzero, P. (1984) Migration of seismic data by phase shift plus interpolation. *Geophysics*, v. 49, p. 124-131.
- Loewenthal, D., Robertson, L. LU. and Sherwood, J. (1976) The wave equation applied to migration. *Geophysical Prospecting*, v. 24, p. 380-399.
- Makogon, Y.F. (1997) *Hydrate of hydrocarbons*, PennWell Pub., Tulsa, Oklahoma. U.S., 482p.
- Nichols, D.E. (1996) Maximum energy traveltimes calculated in the seismic frequency band. *Geophysics*, v. 61, p. 253-263.
- Ostrander, W.J. (1984) Plane wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence. *Geophysics*, v. 49, p. 1637-1648.
- Shipley, T.H., 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.*, v. 63, p. 2204-2213.
- Stoffa, P.L., Fokkema, J.T., de Luna Freire, R.M. and Kessinger, W.P. (1990) Split-step Fourier migration. *Geophysics*, v. 55, p. 410-421.
- Stoll, R.D. (1974) Effect of gas hydrates in sediments. In: *Nature of Gases in Marine Sediments* (Ed. I. R. Kaplan). Plenum press, New York, p. 235-248.
- Suh, S.Y. (2005) Geobit-2.10.14 - the Seismic Data Processing Tool. KIGAM.
- Suh, S.Y., Chung, B. H. and Jang, S. (1996) An Iterative, Interactive and Unified Seismic Velocity Analysis. *KSEG*, v. 2, p. 26-32.
- Whitmore, M.D. (1983) Iterative depth migration by backward time propagation. *The 53 th Ann. Internat. Mtg., Soc. Explt., Geophysics*.
- Yang, D.W. and Yang S.J. (1996) A study on Detection of Gas Reservoirs by AVO and Complex Analysis. *KSGE*, v. 33, p. 340-348.