

## Geobit을 이용한 가스 하이드레이트 탐사자료 처리

장성형 · 서상용 · 정부흥 · 류병재<sup>1)</sup>

### Seismic Data Processing For Gas Hydrate using Geobit

Seong-Hyung Jang, Sang-Yong Suh, Bu-Heung Chung and Byung-Jae Ryu

**요 약 :** 가스 하이드레이트는 전세계적으로 새로운 에너지 자원으로 활용 가능성을 포함하고 있어 연구가 활발하게 진행되고 있다. 한국자원연구소에서는 1997년 부터 동해에서 메탄 하이드레이트 부존 잠재력 규명을 위한 탄성과 탐사를 하고 있다. 탄성과 자료에서 하이드레이트 부존을 의미하는 일반적인 특성은 해저면과 평행하게 나타나는 BSR(Bottom Simulating Reflection)과 BSR 상부에서 보이는 진폭감소 그리고 BSR 하부에서 보이는 진폭증가와 구간속도의 감소 그리고 BSR 에서 반사파의 역전현상 등이 있다. 따라서 위와 같은 하이드레이트 부존특성을 탐지하기 위한 목적으로 실시 되는 자료처리는 진 진폭을 유지하는 자료처리, 정밀 속도분석 및 AVO 분석 등이 요구된다. 본 연구는 1998년 동해에서 취득된 탄성과 탐사자료를 처리하여 하이드레이트 부존 가능성을 확인하고자 하였다. 적용된 자료처리 공정은 구형확산 보정과 주파수 필터링, 공심점 분류, 정밀 속도분석 공정 등이다. AVO 분석은 이용된 현장자료가 AVO를 분석할 정도의 입사각을 유지하고 있지 않아 제외하였다. 정밀 속도분석은 반복적으로 속도 스펙트럼을 구하는 방법으로 정확한 중합속도 결정이 가능한 XVA를 이용하였으며 자료처리의 모든 공정은 국내고유의 탄성과 자료처리 소프트웨어인 Geobit 2.9.5 를 이용하였다. 자료처리 결과 음원위치 1650~1900에서 해저면으로부터 약 367~477 m 깊이(왕복주사 약 1800 ms)에 해저면과 평행하게 발달한 BSR을 확인할 수 있었으며, BSR 부근에서 구간속도 감소 뿐만 아니라 해저면 반사파의 위상과 반대인 반사파 역전현상도 확인할 수 있었다.

**주요어 :** 가스 하이드레이트, BSR, 구간속도, 속도분석, Geobit

**Abstract :** A study of gas hydrate is a worldwide popular interesting subject as a potential energy source. A seismic survey for gas hydrate have performed over the East sea by the KIGAM since 1997. General indicators of natural submarine gas hydrates in seismic data is commonly inferred from the BSR (Bottom Simulating Reflection) that occurred parallel to the sea floor, amplitude decrease at the top of the BSR, amplitude Blanking at the bottom of the BSR, decrease of the interval velocity, and the reflection phase reversal at the BSR. So the seismic data processing for detecting gas hydrates indicators is required the true amplitude recovery processing, a accurate velocity analysis and the AVO (Amplitude Variation with Offset) analysis. In this paper, we had processed the field data to detect the gas hydrate indicators, which had been acquired over the East sea in 1998. Applied processing modules are spherical divergence, band pass filtering, CDP sorting and accurate velocity analysis. The AVO analysis was excluded, since this field data had too short offset to apply the AVO analysis. The accurate velocity analysis was performed by XVA (X-window based Velocity Analysis). This is the method which calculate the velocity spectrum by iterative and interactive. With XVA, we could determine accurate stacking velocity. Geobit 2.9.5 developed by the KIGAM was used for processing data. Processing results say that the BSR occurred parallel to the sea floor were shown at 367~477 m depths (two way travel time about 1800 ms) from the sea floor through shot point 1650~1900, the interval velocity decrease around BSR and the reflection phase reversal corresponding to the reflection at the sea floor.

**Keywords :** Gas hydrate, BSR, Interval velocity, Velocity analysis, Geobit

## 서 론

최근 새로운 에너지원으로 중요성이 인식되고 있는 메탄 하이드레이트는 고압·저온 조건하에서 물과 메탄가스가 결합하여 형성된 고체상 화합물로 영구 동토지역과 수심이 깊은 해

저의 천부 퇴적층에 광범위하게 분포되어 있다(Makogon, 1997). 메탄 하이드레이트의 안정영역은 하이드레이트가 형성되어 해리되지 않고 안정하게 존재할 수 있는 영역을 말하며 안정영역의 하한에서 BSR(Bottom Simulating Reflector)이 나타난다. BSR은 탄성과 중합단면도 상에서 메탄 하이드레이트로 포화

\*1999년 8월 17일 접수

1) 한국자원연구소 석유해저연구부 (Korea Institute of Geology, Mining & Materials)

된 퇴적층과 하부에 존재하는 가스 또는 물로 포화된 퇴적층 사이에서 탄성과 속도 및 밀도 차이 때문에 상하 음향계수의 차가 커서 생긴 큰 진폭을 나타내는 반사면으로, 해저면과 평행하게 발달한것을 말한다(Kvenvolden and Barnard, 1983). 가스 하이드레이트의 부존확인 방법으로는 탄성과 단면도상에 나타나는 BSR과 Deep Sea Drilling Program(DSDP), Ocean Drilling Program(ODP)(Shipley and Diddyhm 1982; Kvenvolden and Barnard, 1983) 사업에 의한 시추자료로 부터 확인 되고 있다. 또한 입사각에 따른 진폭변화를 나타내는 AVO (Amplitude Versus Offset) 분석결과 BSR 상부에는 전형적으로 진폭감소 현상(Amplitude blanking)을 보이며 하부에는 가스에 의한 진폭증가 양상을 보인다(Shipley *et al.*, 1979; Andreasen *et al.*, 1997). 가스 하이드레이트는 이를 포함하는 퇴적층의 구간속도를 증가시키며(Stoll and Bryan, 1979; Tucholke *et al.*, 1977; Dillion and Paul, 1983) 그 증가하는 정도는 하이드레이트의 양에 비례하는 것으로 알려져 있다(Pearson *et al.*, 1983). 이상에서와 같이 탄성과 탐사자료로 부터 하이드레이트를 탐지하기 위해서는 구간속도 (interval velocity)와 진폭이 중요한인자임을 알 수 있다.

한국자원연구소에서는 1997년 부터 동해에서 메탄 하이드레이트 부존 유망지역과 하이드레이트 안정영역을 규명하기 위해 탄성과 탐사를 수행하고 있다. 본 연구에서는 1998년 동해에서 가스 하이드레이트 탐지를 위해 취득한 탄성과 탐사자료를 처리하여 부존 가능성을 확인하고자 하였다. 본 자료는 구형확산 보정과 주파수 필터링, 속도분석, NMO 보정과 중합공정을 실시하여 처리하였다. AVO 분석은 음원과 수신기의 간격이 최소 51 m에서 최대 444.75 m이고 해저면의 깊이가 187 m에서 1500 m로 AVO 분석을 실시할 정도의 입사각을 유지하고 있지않아 자료처리 과정에서 제외하였다. 특히 정밀 속도 분석을 위해 반복적으로 속도 스펙트럼을 구하는 *xva*(서상용 외, 1999)를 정확한 중합속도와 구간속도를 구하는데 이용하였다. 자료처리를 위한 시스템은 PC Pentium pro 266 MHz, 128 Mb RAM, 6 GB H.D.D.로 이루어져 있으며 보조기억장치로 144 GB 용량의 파일서버를 갖추고 있다. 시스템 운영체제는 Linux 2.0.35이며 자료처리 소프트웨어는 Geobit 2.9.5이다(서상용 외, 1991).

### 자료처리

새로운 에너지 자원으로 활용가능성을 포함하고 있는 가스 하이드레이트는 높은 압력과 낮은 온도상태가 유지 되고 있는 심해저의 천부에 광범위하게 부존되어 있다. 고체상태로 존재하는 메탄 하이드레이트로 포화된 퇴적층에서는 물 또는 가스로 포화된 퇴적층에 비해 탄성과 속도가 높기 때문에 메탄 하이드레이트층의 하부 경계면에서는 탄성과 속도가 감소하게 된다. 따라서 하이드레이트 탐사를 위한 탄성과 탐사자료는 구

간속도와 진폭변화가 중요한 인자가 된다. 본 연구에서는 현장 자료에 대한 특성파악, 필터링, 정밀 속도분석, 중합과정을 통해 하이드레이트를 함유하고 있는 퇴적층에 대한 지층단면도를 제시하고자 한다.

### 현장 자료입력 및 특성

한국자원연구소는 1998년 가스 하이드레이트 부존여부를 조사하기 위한 탄성과 탐사를 포함 남동쪽 약 50 km 떨어진 동해 중부해역에서 13개 측선(Fig. 1)에 대해서 실시하였으며 이때 이용된 현장자료 취득변수는 Table 1에 있다.

가스 하이드레이트 탐사자료 처리는 진폭과 구간속도가 중요한 지시자이므로 진폭왜곡을 가져올 수 있는 자료처리 공정은 제외하였으며 적용된 자료처리 공정은 Fig. 2에 있다.

본 연구에서 이용한 자료는 총 13개 측선중 98GH-00 측선이다. 이것은 음원 101부터 4916까지 총 4816개의 공발점 취합도(shot gathers)로 이루어져 있다. 자료처리를 시작하기 위해 SEG-D 형식으로 된 테이프 자료를 읽어 Geobit 디스크 파일형식으로 변환하였다.

현장자료는 샘플링 간격을 2 ms로 재구성하였으며 이중 음

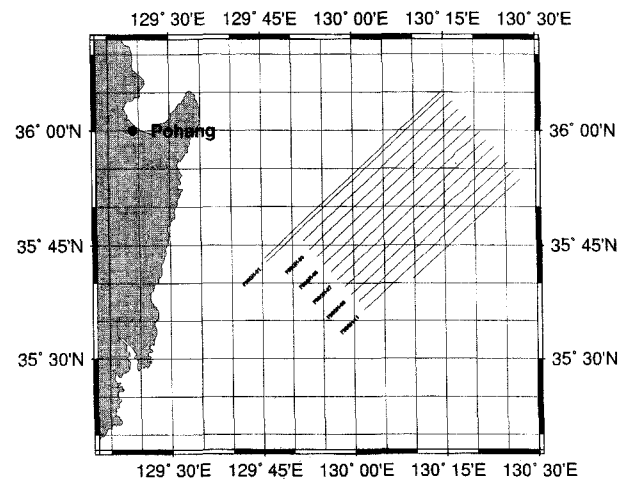


Fig. 1. A location map of seismic survey for gas hydrate.

Table 1. Seismic data acquisition parameters for gas hydrate

No. of channels (per streamer)	64
Group interval	6.25m
Offset(center source to near trace)	51m
Record length	4sec
Sample rate	1ms
Recording filter	Hi-cut: 360Hz/72dB Low-cut: 5Hz/18dB
Tape format	SEG-D(8015)
Source type	Bolt Airgun Array
Volume per source	54/54,90 cu in.
Source pressure	200 psi
Shot point interval	12.5 m
Far offset	444.75 m

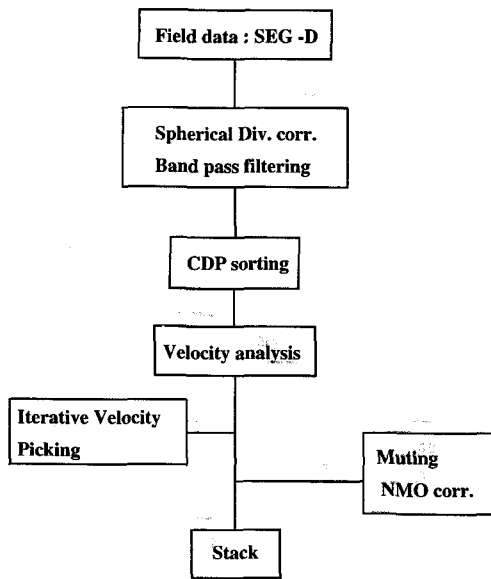


Fig. 2. Processing sequence flow chart for gas hydrate.

원위치 101, 480, 1000, 1500, 2000에서 공발점 취합도를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 가로축은 수진기 번호를 나타내며 세로축은 왕복주시 시간을 ms 단위로 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 29번 및 41번 트레이스는 비정상 신호음을 보여주고 있으며 탐사선 및 조류영향에 의한 저주파 잡음이 섞여 있고, 또한 음원 주위에 버블효과에 의한 영향이 직접파에 나타나고 있음을 알 수 있다. 음원 위치 480에서는 이중발파에 의한 기

록이 있고 나머지 음원 모음 단면도는 정상적으로 기록되었음을 확인 할 수 있었다. 음원 480에 있는 이중발파 기록은 내부 뮤트(inner mute)를 적용하여 제거하였다.

구형확산 보정

탄성과 음원의 에너지는 전파하는 동안 기하학적 발산효과 때문에 진폭이 감소하는 경향을 나타내므로 이에 대한 보정이 실시된다. 탄성과 에너지가 음원으로 부터 거리의 제곱에 반비례하기 때문에 탄성파의 진폭 역시 반비례한다. 또한 매질의 속도가 균일하다면 진폭은 시간에 반비례 한다. 본 연구에서의 자료처리 대상 축선은 해수면의 깊이가 약 187 m에서 최고 1500 m까지 점차로 깊어지는 양상을 보이고 있기 때문에 음원 위치 500까지는 속도함수 1로, 750까지는 속도함수 2로, 1000까지는 속도함수 3을 그리고 2000까지는 속도함수 4를 이용하여 구형확산 보정을 실시하였고 각각의 속도함수는 Table 2에 있으며 그 결과는 Fig. 4에 있다. 그림에서 보듯이 속도함수에 따른 구형확산 보정은 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

주파수 필터링

Fig. 3에서 보듯이 상당수의 음원 모음단면도는 탐사선에서 발생하는 잡음(음원과 첫번째 수진기 거리 51 m)과 조류영향에 의한 저주기성 잡음이 존재함을 알 수 있다. 따라서 저주기성 잡음을 제거하기 위해 주파수 필터링 분석을 실시하였으며 결과는 Fig. 5에 있다. Fig. 5에서 보듯이 (b)는 주파수 대역이

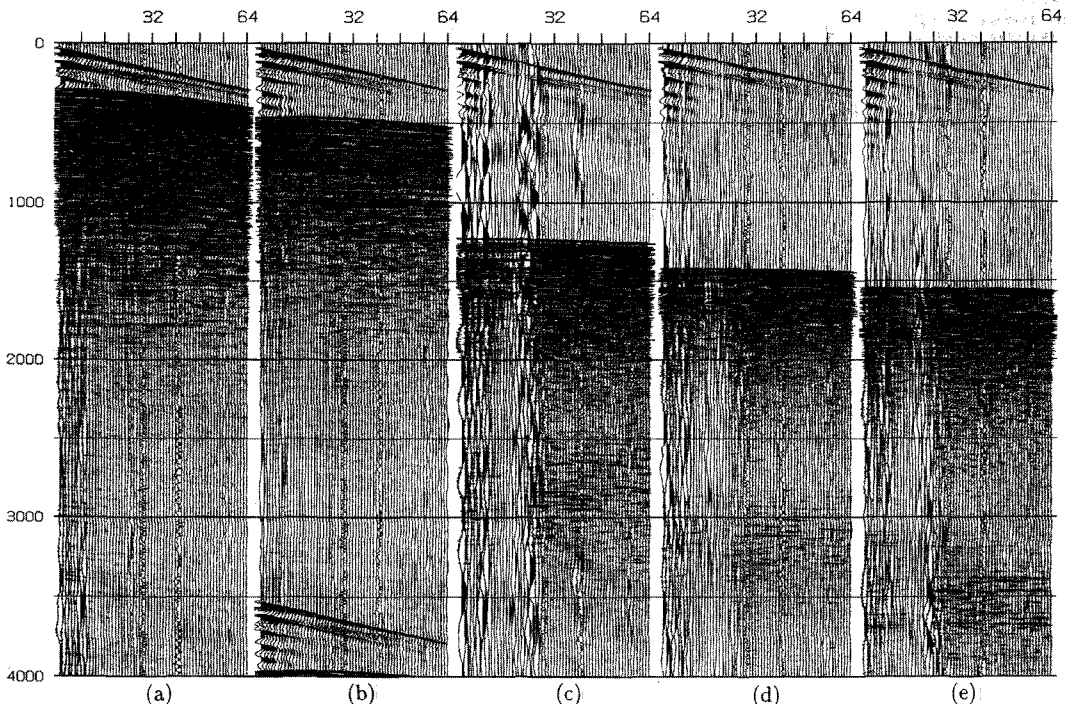
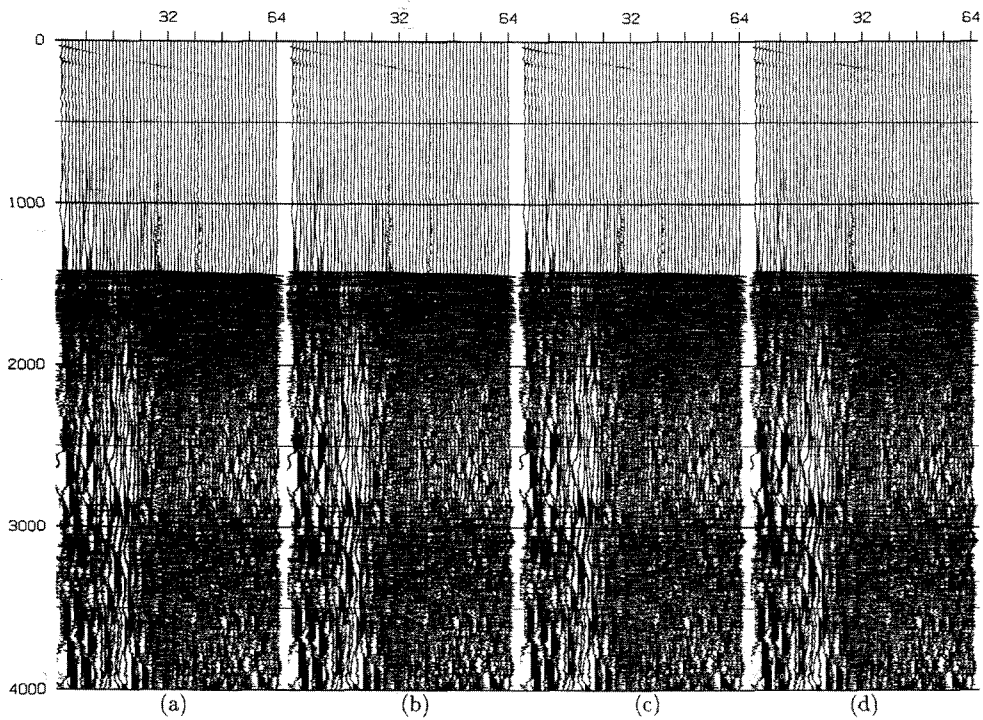


Fig. 3. Raw field records. (a)-(e) are at shot point 101, 480, 1000, 1500, and 2000, respectively. Here, horizontal direction shows trace number and vertical direction shows two way travel time in ms.

**Table 2.** Velocity functions for spherical divergence correction

vel 1		vel 2		vel 3		vel 4	
Time (ms)	vel (m/s)	Time (ms)	vel (m/s)	Time (ms)	vel (m/s)	Time (ms)	vel (m/s)
100	1500	500	1500	900	1500	1300	1500
800	1800	900	1600	1000	1800	1500	1800
1000	2000	1200	1800	1500	2000	1800	2000
2000	2500	2000	2000	2000	2500	2000	2500
3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000



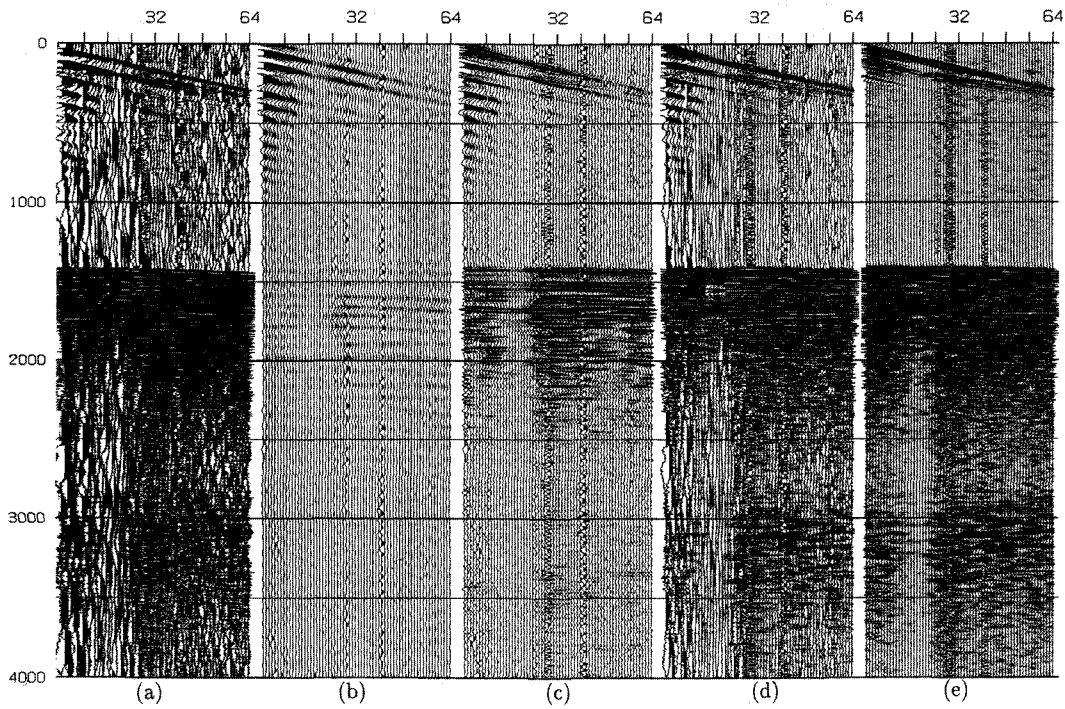
**Fig. 4.** The results of spherical divergence correction are shown under various velocity library functions. (a)-(d) spherical divergence parameters of lib 1, 2, 3, and 4, respectively.

8-12-16-24 Hz인 사다리꼴 주파수 대역을 적용한 결과로 고주파수 대역에 존재하는 신호음이 모두 제거된 결과를 보여주고 있으며, (c)는 주파수 대역이 10-12-40-60 Hz, (d)의 경우는 주파수 대역이 5-12-90-100 Hz 일 때의 결과이다. (e)의 경우, 28-32-100-120 주파수 대역을 적용한 경우로 탐사선 및 조류 등에 의한 저주기성 잡음이 제거 되었음을 알 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 5(e)에 적용된 주파수 대역을 주파수 필터링에 적용하였다.

**공심점 분류(CDP sorting)**

공발점 취합도에 대한 구형확산 보정과 주파수 필터링이 끝나면 속도분석과 NMO 보정을 위한 공심점 분류를 시작한다. 다중채널 탄성과 탐사의 주목적은 같은 공통반사점을 갖는 기록을 중합시킴으로써, 탄성과 단면도의 신호대 잡음의 비를 향상 시키는데 있다. 공심점 분류 이전의 탐사자료 전산처리 과

정은 일회발파에 의해 얻어진 탐사기록들의 트레이스들을 기본단위로 하여 각 트레이스 내의 반사파 파형요소 특성을 변화시키는 과정들이다. 공심점 분류는 반사파의 파형요소 특성을 변화시키지 않고서 최종 중합전까지의 전산처리 목적에 맞게 공심점 별로 재분류하는 과정이다. 공심점 분류 할 때 필요한 전산입력 변수로는 탄성과 축선 배열과 기록편집에 관한 것이다. 탄성과 축선 배열에 관한 것으로는 음원간격, 최대 중합수, 음원으로 부터 첫번째 수진기까지의 거리, 수진기 간격, 수진기 갯수, 최소 공심점에 해당하는 탐사지점 번호 등이며, 기록의 편집을 위한 입력변수에는 음원의 불발에 기인한 기록 또는 기록내에 존재하는 불량 트레이스 등이 포함된다. 연구 대상자료는 음원간격이 수진기 간격의 2배이고 수진기 갯수가 64개로 최대 16개의 트레이스가 하나의 공심점 모음단면도를 이룬다. 이때 공심점 간격은 3.125 m로 음원간격이 공심점 간격의 4배가 되어 공심점 번호는 “음원번호 × 4 - 수진기 번호

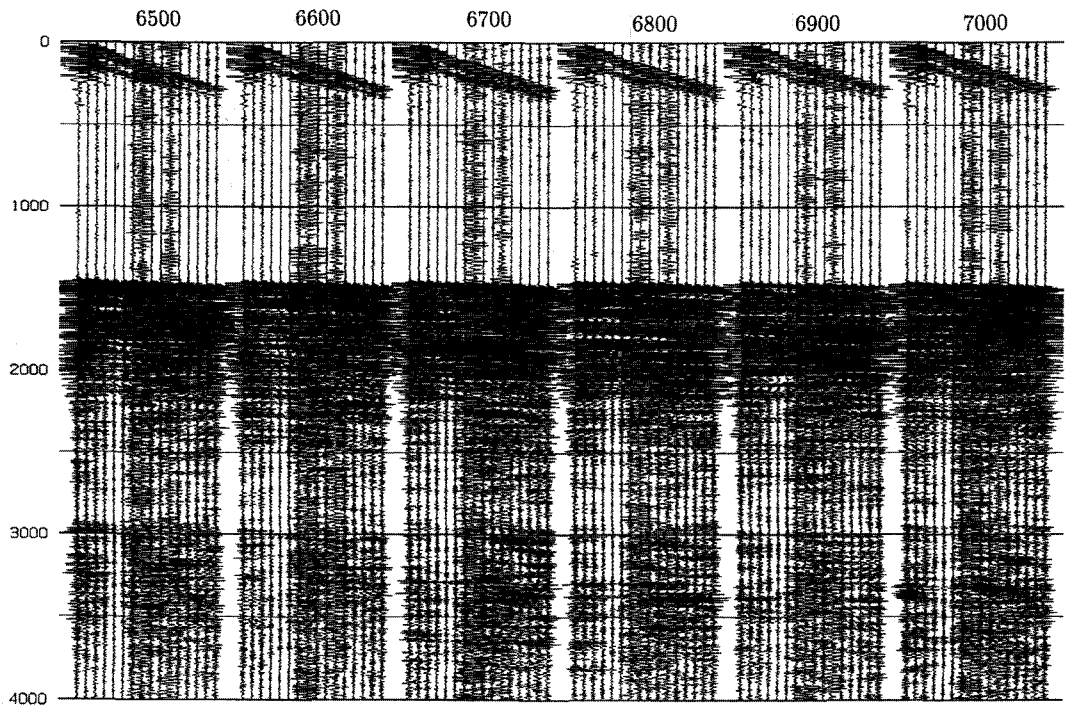


**Fig. 5.** Test of band pass filtering. A shot gather and its filtering results are shown under various circumstances. (a) input gather; (b)-(e) band pass filter parameters of 8-12-16-64, 10-12-40-60, 5-12-90-100, and 28-32-100-120.

+1"로 결정된다. 위와 같은 방법으로 공심점 분류를 실시하여 속도분석을 위한 새로운 자료파일로 저장하였다. Fig. 6은 공심점 모음 단면도를 CDP 6500에서 7000까지 CDP 100 간격으로 도시한 것으로 16폴드를 이루고 있음을 보여준다.

**정밀 속도분석**

공심점 분류가 완료되면 탄성과 중합속도 결정을 위한 속도 분석이 필요하다. 자료처리과정에서 속도함수를 결정하는 속도분석 공정은 중합단면도에 직접영향을 주므로 매우 중요한



**Fig. 6.** CDP gathers from 6500 to 7000 every 100 steps. Here, horizontal direction shows CDP number.

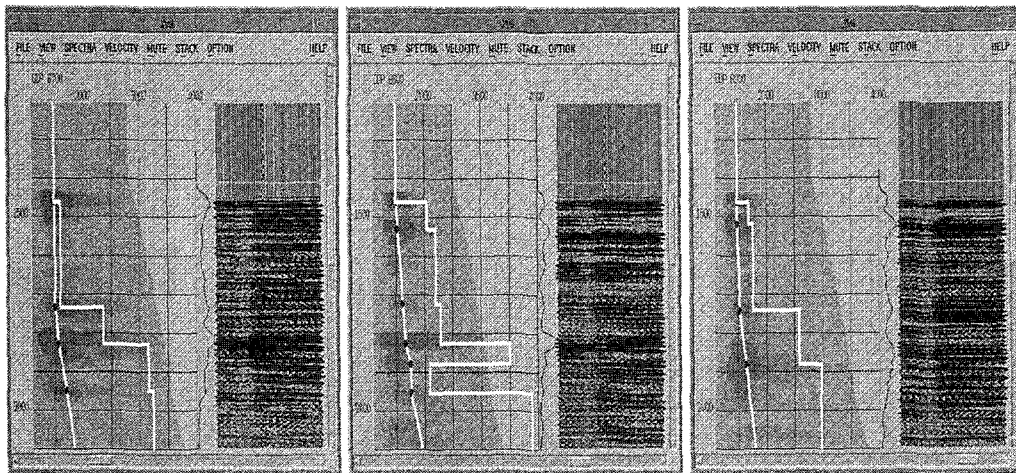


Fig. 7. (a)-(c) are the results of velocity analysis at CDP 6700, 6800 and 6900, respectively. Velocity spectrum, NMO velocity, interval velocity and partial stack are shown by *xva*.

공정이다. *xva*는 속도분석과 밀접한 관계가 있는 슈퍼게더 조립, 셉블런스 계산, 동보정, 뮤트, 중합과 같은 전산처리 공정을 동시에 지원하는 통합적인 대화식 속도분석 프로그램으로 정밀한 속도분석에 활용된다.

속도분석을 실시하기 위해서는 전처리 과정이 끝난 탄성파 자료의 공심점 분류가 필요하다. 모든 공심점 취합도에 대해 속도분석을 실시하는 것은 많은 시간과 노력이 필요하고 단층, 습곡, 암염 돔 구조 등과 같이 복잡한 지형을 제외하고는 실제 지층구조는 급격한 변화를 보이지 않으므로 바람직하지 않다. 따라서 몇개의 공심점 취합도를 선택하여 슈퍼게더를 생성하고 이것을 속도분석의 입력자료로 이용한다.

본 연구에서는 4개의 공심점 취합도를 선택하여 매 100개 공심점 마다 즉 312.5 m 간격으로 슈퍼게더를 만들었으며, 정확한 속도분석을 위해 잡음을 제거한 후 속도 스펙트럼을 반복적으로 계산하여 중합속도를 결정하였다. 대표적인 속도분석 결과는 Fig. 7에 있다. 그림의 왼쪽에는 속도 스펙트럼의 결과와 중합속도 및 구간속도를 동시에 도시한 결과이고, 오른쪽에는 잡음을 제거하기 위한 뮤트함수와 NMO 보정된 슈퍼게더의 결과이다.

그림에서 보듯이 1차 속도 스펙트럼을 구한 후 NMO 보정과 외부 뮤팅을 실시한 후 재차 속도 스펙트럼을 구한 것이다. Fig. 7(a)와 (c)는 CDP 6700과 CDP 6900에서 속도분석한 결과로 구간속도가 심도에 따라 증가하는 일반적인 속도분포 양상을 보이고 있으며, Fig. 7(b)는 CDP 6800에서 실시한 속도분석 결과로 왕복주사시간 1.8초 부근에서 구간속도가 감소하는 저속도층의 존재를 나타내고 있다. 속도분석 결과 중합속도와 구간속도는 Table 3에 있다.

**중합단면도**

정밀 속도분석이 끝난 후 결정된 중합속도는 NMO 보정에 이용되어 중합단면도가 완성된다(Fig. 8). Fig. 8(a)는 음원위치

Table 3. NMO and interval velocity by Dix's equation

	Time(ms)	NMO Vel.(m/s)	Int. Vel.(m/s)	Depth(m)
CDP 6700	1463	1484	1484	1086
	1735	1504	1608	1305
	1830	1560	2364	1416
	1950	1701	3153	1605
	2240	1971	3246	2076
	4000	3497	4780	6283
	CDP 6800	1463	1498	1498
1534	1527	2051	1168	
1725	1616	2202	1379	
1827	1661	2287	1496	
1881	1740	3502	1589	
1955	1755	2095	1667	
2232	2141	3904	2206	
2385	2480	5378	2620	
2480	2781	6893	2948	
2661	3136	6222	3508	
3319	3479	4614	5028	
3970	3950	5784	6908	
CDP 6900	1463	1484	1484	1086
1519	1492	1692	1133	
1743	1530	1765	1331	
1883	1631	2580	1511	
2247	1914	2974	2053	
2453	2321	4930	2559	
3470	3401	5145	5175	
3950	3791	5884	6588	

1500에서 2000까지, 왕복주사 1400에서 2100 ms까지의 지층 단면도를 가변면적(variable area)에 의해 도시한 것이다. 음원 위치 1650~1900, 왕복주사 1800 ms 부근에서 해저면과 같은 방향으로 발달한 BSR이 나타남을 보여준다. 일반적으로 가스 하이드레이트가 함유된 지층에서 P 파 속도는 2.01~4.5 km/s, S파는 0.14~1.25 km/s 그리고 밀도는 1.15~2.4 gm/cm<sup>3</sup>으로 알려져 있으며 또한 중합단면도상에서는 BSR이 해저면에서 반



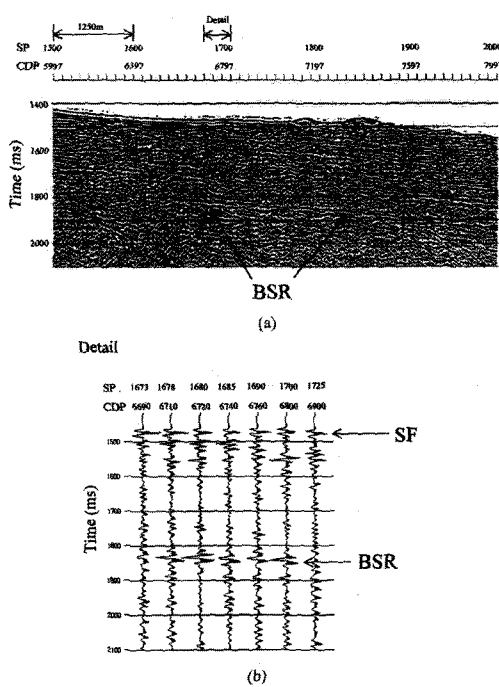


Fig. 8. (a) CMP stack derived from the NMO corrected CDP gathers for line 98GH-00. (b) Zoomed stack section for the BSR.

사된 파와 정반대의 위상을 나타내는 것으로 알려져 있다. 따라서 BSR에서 반사파 위상을 확인하기 위해 음원번호 1673~1725까지 확대한 그림을 Fig. 8(b)에 나타내었다. 그림에서 보듯이 왕복 주시시간 약 1.8초대(해저면에서 367~477 m 깊이)에서 음원위치 1673과 1725의 경우 해저면에서의 반사파 위상이 바뀌는 반사파 역전현상이 나타나지 않으나 나머지 음원위치에서는 반사파 위상역전 현상이 발생함을 알 수 있다. 이와 같은 깊이는 연구 대상지역에 대한 원시 수심자료와 VI-1광구 고래 1-1공의 물리검층에 의한 지열구배(Geothermal gradient) 자료와 비교하였 때 하이드레이트가 부존할 수 있는 안정영역에 해당된다(류병재 외 18인). 본 자료처리 결과 중합단면도상에 전형적으로 나타나는 하이드레이트 부존 특성인 해저면과 평행하게 발달한 BSR과 구간속도의 감소 그리고 해저면에서 반사파 위상과 반대인 반사파 역전현상을 확인할 수 있었다.

### 결론

한국자원연구소에서는 1998년 동해에서 메탄 하이드레이트 부존 잠재력 규명을 위한 탄성과 탐사를 13개 축선에 대해 실시 하였다. 본 연구에서는 이중 98GH-00 축선에 대해서 Geobit 2.9.5를 이용하여 일반적인 자료처리 공정과 함께 정밀 속도분석을 실시하였다. 자료처리 결과, 축선 98GH-00의 음원 위치 1650~1900, 왕복 주시 1800 ms(해저면에서 약 367~477 m 깊이) 부근에서 해저면과 평행하게 발달한 BSR과 해저면에서 반사파 위상과 반대인 반사파 위상역전 현상을 확인하였으며 BSR을 경계로 구간속도가 감소함을 확인할 수 있었다.

연구대상 자료는 입사각이 AVO 분석을 실시 할 정도가 되지 못해 제외하였으나 앞으로 충분한 입사각을 유지한 자료가 획득된다면 AVO 분석을 통해 좀더 정확한 가스 하이드레이트 부존 가능성을 확인할 수 있을 것으로 생각된다.

### 사 사

본 연구는 한국자원연구소에서 수행 중인 과학기술부 기관 고유사업 “21세기 신 에너지 자원 가스 하이드레이트 연구” 결과의 일부이다. 탐사자료의 취득을 위해 힘써주신 참여 연구원들과 탐해 2호의 선박직원들께 감사를 드린다.

### 참고문헌

1. 류병재 외 18인, 1999, 21세기 신에너지자원 가스 하이드레이트 연구, 한국자원연구소 98 기관고유 연차보고서, 71-136.
2. 서상용, 정부홍, 서재영, 1991, 석유탄사자료 전산개발 연구, 한국자원연구소 연구보고서 KR-91-5A-2, 1-48.
3. 서상용, 정부홍, 장성형, 1999, 반복적 대화식 통합 탄성과 속도분석, 물리탐사, v. 2, No. 1, 26-32.
4. 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, 137, 25-40.
5. Dillon, W. P. and Schneider, W. A., 1983, Marine gas hydrate-II: geophysical evidence. In: Natural Gas Hydrates: Properties, Occurrence and Recovery (Ed. J. L. Cox), Butterworth, Boston, 73-90.
6. Kvenvolden, K. A. and Barnard, L. A., 1983, Gas hydrate of the Blake Ridge Outer Ridge, Site 533, Deep Sea Drilling Project Leg 76, In Sheridan R. E. and Gradstein F. W. et al. eds., Initial Report, DSDP 76, U.S Government Printing Office, Washington, D.C., 353-365.
7. Makogon, Y. F., 1997, Hydrate of hydrocarbons, PennWell Publ. Tulsa, Oklahoma, US, 482p.
8. Pearson, C. F., Halleck, P. M., McGulre, P. L., Hermes R. and Mathews, M., 1983, Natural gas hydrate: a review of in situ properties, J. Phys. Chem., 87, 4180-4185.
9. Shipley, T. H., Houston, M. H., Buffler, R. T., 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.
10. Shipley, T. H. and Didy, B. M., 1982, Occurrence of methane hydrates offshore southern Mexico, Initial Report, DSDP Leg 66, U.S Government Printing Office, Washington, D. C., 547-555.
11. Stoll, E. D. and Bryan, G. M., 1979, Physical properties of sediments containing gas hydrates, J. Geophys. Res., 84, 1629-1634.
12. Tucholk, B. E., Bryan, G. M. and Ewing, J. I., 1977, Gas hydrate horizons detected in seismic profile data from the western North Atlantic, AAPG Bull., 61, 698-707.