

지오빗을 이용한 동해 가스하이드레이트 탄성과 자료처리 매개변수 분석

김 영완¹⁾, 장 성형²⁾, 김 현태³⁾, 윤 왕중⁴⁾

Parameter analysis for gas hydrate data of East sea using Geobit

Youngwan Kim, Seonghyung Jang, Hyuntae Kim, Wangjoong Yoon

Key words : BSR(해저면 기인 고진폭 반사파), gas hydrate(가스 하이드레이트), parameter(매개변수)

Abstract : A seismic survey for gas hydrate have performed over the East sea by the KIGAM since 1997. General indicator of gas hydrate in seismic data is commonly inferred from the BSR(Bottom Simulating Reflector) 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. In this paper, we had analyzed optimum parameters of the field data to detect the gas hydrate. Shot delay correction is applied 95ms, spherical divergence correction is applied velocity library 3, bandpass filter is applied 25-30-115-120Hz, deconvolution operator length is applied 60ms, lag is 6ms and accurate velocity analysis, NMO correction, stack is performed. Geobit 2.11.0 developed by the KIGAM was used for all data processing. Processing results say that the BSR occurred parallel to the sea floor were shown at 3,150m/s of two way travel time from the sea floor through shot point 5,000-5,610, and identified the interval velocity decrease around BSR and the reflection phase reversal corresponding to the reflection at the sea floor.

1. 서론

새로운 에너지원으로 다양한 연구가 진행되고 있는 가스 하이드레이트는 고압, 저온 조건하에서 물과 메탄가스가 결합하여 형성된 고체상 화합물로 수심이 깊은 해저의 천부 퇴적층에 광범위하게 분포되어 있다. 가스 하이드레이트 안정영역(Gas hydrate stability zone)은 하이드레이트가 형성되어 해리되지 않고 안정하게 존재할 수 있는 영역을 말하며 안정영역의 하한에서 BSR(Bottom Simulating Reflector)가 나타난다. BSR은 탄성과 중합단면도 상에서 가스 하이드레이트로 포화된 퇴적층과 하부에 존재하는 가스 또는 물로 포화된 퇴적층 사이에서 탄성과 속도 및 밀도 차이에 의해 상하 음향계수의 차가 커서 생긴 큰 진폭을 나타내는 반사면으로 해저면과 평행하게 발달한 것을 말한다(Kvenvolden, K. A., and Barnard, L. A., 1983.).¹⁾ 가스 하이드레이트의 부존확인 방법으로는 탄성과 단면도상에 나타나는 BSR과 ODP(Ocean Drilling Program), 2003년부터 시작된 IODP(Integrated Ocean Drilling Project) 국제공동 시추사업 등의 사업에 의한 시추자료로부터 확인되고 있다(Shipley, T. H., and Didyh, B. M., 1982).²⁾ 또한 입사각에 따른 진폭변화를 나타내

는 AVO(Amplitude Variation with Offset)분석 결과 BSR 상부에는 전형적으로 진폭감소 현상(Amplitude blanking)을 보이며 하부에는 가스에 의한 진폭증가 양상을 보인다(Shipley, T. H. et al., 1979; Andreassen, K., Hart, E. H. and MacKay, M., 1997).^{3,4)} 가스 하이드레이트는 이를 포함하는 퇴적층의 구간속도를 증가시키며 그 증가하는 정도는 하이드레이트의 양에 비례하는 것으로 알려져 있다(Stoll, E. D. and Bryan, G. M., 1979; Tuochoik, B. E., Bryan, G. M. and Ewing, J. I., 1977).^{5,6)} 이와 같은 연구 결과로부터 탄성과 탐사자료로부터 가스 하이드레이트의 부존 가능성을 지시하는 BSR을 탐지하기 위해서는

1) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부

E-mail : linuxyoung@hanmail.net

Tel : 042-868-3403 Fax :

2) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부

E-mail : jang@kigam.re.kr

Tel : 042-868-3402 Fax : 042-861-0264

3) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부

E-mail : hkim@kigam.re.kr

Tel : 042-862-7275 Fax :

4) 전남대학교 지구시스템공학과

E-mail : wjyoon@chonnam.ac.kr

Tel : 062-530-1725 Fax :

구간속도(interval velocity)와 진폭이 매우 중요함을 알 수 있다(장성형 등, 1999).⁷⁾

한국지질자원연구원은 가스 하이드레이트의 부존 유망 지역 파악을 위해 동해에서 탄성과 탐사 자료를 취득하고 있다. 2005년에 취득된 자료 중 일부를 이용하여 탐사 대상 지역의 BSR을 확인하기 위한 자료처리 과정의 최적 매개 변수를 분석하고자 하였다. 자료처리 과정은 음원 발파 지연 보정, 이득 회수, 주파수 필터링, 디콘볼루션, 속도 분석 및 NMO 보정, 중합 등으로 실시하였다. 자료 처리는 Geobit 2.11.0(서상용, 2003)을 사용하였으며 운영체제는 Enterprise Linux 4.0 32bit, P-IV 3.2GHz, 2GB의 RAM, 1.5TB의 파일서버로 이루어져있다.⁸⁾

2. 자료 처리

고체 상태로 존재하는 가스 하이드레이트로 포화된 퇴적층에서는 물 또는 가스로 포화된 퇴적층에 비해 탄성과 속도가 높기 때문에 가스 하이드레이트 층의 하부 경계면에서는 탄성과 속도가 감소하게 된다. 따라서 하이드레이트 탐사를 위한 탄성과 탐사자료는 구간속도와 진폭변화가 중요한 인자가 된다. 본 연구에서는 현장 자료에 대한 특성 파악, 음원 발파 보정, 이득회수, 대역통과 필터링, 정밀 속도분석, 중합 등의 자료처리 과정에서 사용될 최적 매개변수를 분석하였다.

2.1 현장 자료

한국지질자원연구원은 가스 하이드레이트의 부존 유망 지역 파악을 위해 2005년에 동해에서 탄성과 탐사를 수행하였다. 본 연구는 2005년에 취득된 자료 중 일부 측선에 대해 1001개 음원 모음을 대상으로 실시하였으며 이 때 사용된 현장자료 취득 변수는 Table 1에 있다.

Table 1. Data acquisition parameter for gas hydrate.

No. of Channels	240
Group interval	12.5m
Offset	50m
Record length	7 sec
Sampling rate	1 msec
Recording filter	Low cut 3Hz/18dB/Oct High cut 360Hz/72dB/Oct
Tape format	SEG-D(8048)
Source type	Bolt airgun
Volume per source	1,035 in ³
Source pressure	2000psi
Shot point interval	25m
Far offset	3,037.5m

현장 자료 중 음원 위치 5000, 5033, 5228, 5565, 6000에서의 공발점 취합도를 Fig.1에 나타내었다. 가로축은 수진기 번호이며, 세로축은 왕복주사이며 ms 단위이다. 그림에서 보듯 122번 트레이스는 신호를 기록하지 못하고 있으며, 탐사선 및 조류영향에 의한 저주파 잡음이 뒤섞여 있고, 음원에 의한 영향이 직접파에 나타나고 있음을 알

수 있다. 기타 이층 발파 등에 의한 기록 등은 없음을 확인하였다.

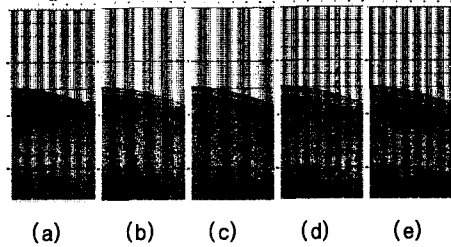


Fig. 1. Raw field records.

매개 변수 분석은 Fig. 2과 같은 자료처리 공정에 포함되어 수행되었다.

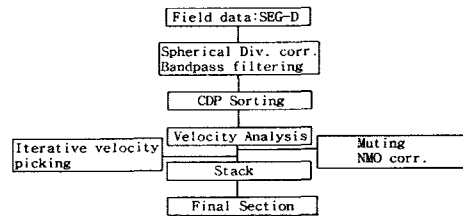
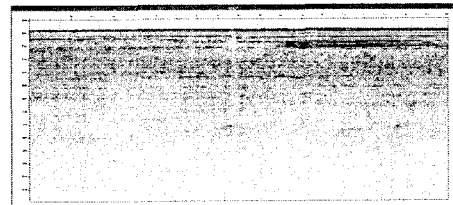
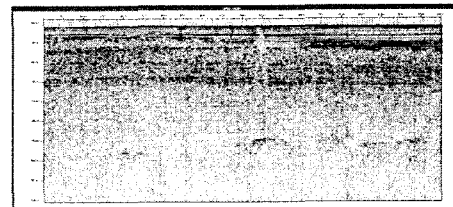


Fig. 2. Processing sequence flow chart.

측선의 개략적인 지질상황을 확인하기 위해 첫 번째 트레이스 모음도와 마지막 트레이스 모음도를 작성하여 보았다. Fig.3 (a)는 각 음원모음의 첫 번째 트레이스만을 모은 첫 번째 트레이스 모음도이며, (b)는 마지막 트레이스만을 모은 마지막 트레이스 모음도이다.



(a) Near trace gather



(b) Far trace gather

Fig. 3. A near trace gather and a far trace gather, respectively.

그림에서 보듯이 지질구조 변화가 없으며 음원 5500번 하부 중앙에 층서를 가로지르는 진폭 공백을 갖는 이상대가 보이고 있음이 특징적이다. 이는 추후 자료처리 과정을 통해 보다 자세한 특성이 분석될 것이다.

2.2 음원 발파 지연 보정

현장 자료는 에어건 발파가 예정된 시간보다 조금씩 지연되는 경우가 많다. 정확한 발파지연시간의 크기는 탄성과 자료 자체를 분석하여 얻어야 한다.

음원과 첫 번째 트레이스와의 거리는 50m이고 수중의 음파속도가 1,500m/s이므로 도달시간은 33ms가 되어야 한다(Fig. 4). 첫 번째 트레이스의 직접파 도달 시간이 108ms 이므로 75ms의 발파 지연보정이 전 트레이스에 적용되어야 한다. 또한 첫 번째 트레이스는 108ms에서 초동이, 120ms에서 최소점을, 136ms에서 최대점, 148ms에서 0을 갖는 파형이다. 따라서 파동의 도달시간을 파형의 시작점으로 하는 것은 무리가 있다. 도달파형의 중앙부를 파동의 도달시간으로 가정하면 해지면 반사파의 속도가 수중음파속도와 비슷한 1500m/s로 그 외에는 다른 값을 보인다. 따라서 중앙부가 도달한 시간 128ms를 파동의 실제 도달시간으로 보아야 할 것이다. 이 경우 발파지연 시간은 95ms가 되며 이를 이후의 모든 자료처리에 적용하였다.

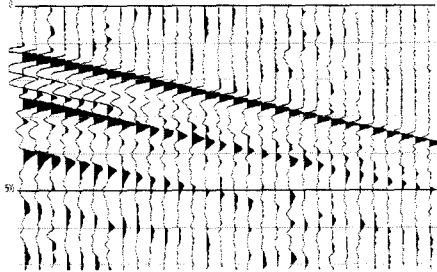
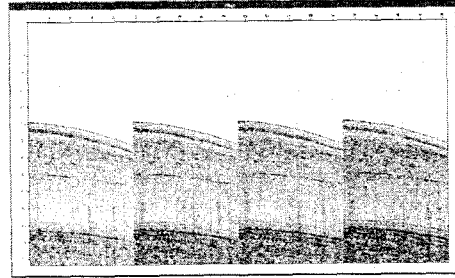


Fig. 4. shot delay correction.

2.3 구형발산 보정

탄성파의 에너지는 전파하는 동안 기하학적 발산효과로 인하여 진폭이 감소하므로 이에 대한 보정을 실시하였다. 탄성파 에너지가 음원으로부터 거리의 제곱에 반비례하고, 진폭은 거리에 반비례한다. 또한 매질의 속도가 균일하다면 진폭은 시간에 반비례한다. 본 연구 자료에서의 자료처리 대상 축선은 해저면까지의 심도가 거의 균일하므로 Table 2로 주어진 속도함수를 사용하여 음원모음 5800에 대하여 구형발산 보정을 적용하여 보았고 그것을 적용한 결과가 Fig. 5이다. 전체적으로 속도함수 4를 적용한 (d)의 음원 모음이 과보정된 듯하고 나머지는 대동소이하다. 이러한 것을 볼 때 속도함수에 따른 구형발산 보정은 크게 다르지 않음을 알 수 있었고, 속도함수 3을 적용하였다.



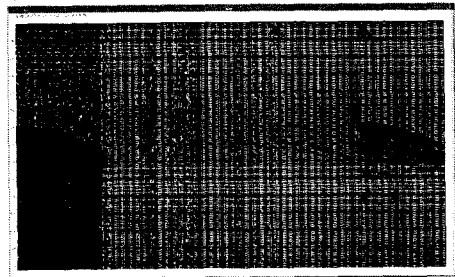
(a) (b) (c) (d)
Fig. 5. Gain correction.

Table 2. Velocity function for spherical divergence correction.

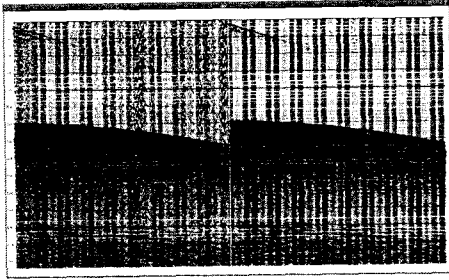
library 1		library 2		library 3		library 4	
time (ms)	vel (m/s)	time (ms)	vel (m/s)	time (ms)	vel (m/s)	time (ms)	vel (m/s)
3100	1500	3100	1480	3100	1500	3100	1500
3200	1550	3200	1550	3200	1600	3200	1550
3400	1600	3400	1700	3400	1700	3400	1600
3600	1800	3600	1800	3600	1800	3600	2000
3900	2000	3900	2200	3900	2500	3900	3000
4000	2500	4000	2800	4000	3000	4000	4000
5000	3000	5000	4000	5000	4000	5000	5000

2.4 대역 통과 필터

스웰 잡음과 기타 잡음이 존재하는 음원모음 5019를 대상으로 대역통과 필터를 시험하였다. Fig. 6은 신호의 저주파수 대역을 조사하기 위하여 (a)는 원시자료, (b)는 1-5Hz, (c)는 5-10Hz, (d)는 10-15Hz, (e)는 15-20Hz만을 통과시켜 도시한 것이다. (b)-(c)를 살펴보면 0-10Hz까지는 대부분 스웰 잡음 및 기타 잡음이 기록되는 것을 볼 수 있다. (d)에서는 직접파와 신호가 미약하게 나타나고 (e)에서 신호가 감지되고 있음을 볼 수 있다. 추가적인 저주파수 하한 분석을 통하여 스웰 잡음 및 기타 저주파수 잡음을 제거하는 하한을 25Hz로 선택하였다. 고주파수 성분도 유사한 방법으로 분석하였고 최종적으로 선택한 대역은 25-30-115-120Hz이며 그 결과는 Fig. 7이며, 스웰 잡음 및 기타 잡음이 현저히 감소되었음을 볼 수 있다.



(a) (b) (c) (d) (e)
Fig. 6. Low-cut test. (a) raw data, (b) 1-5Hz, (c) 5-10Hz, (d) 10-15Hz, (e) 15-20Hz, respectively.



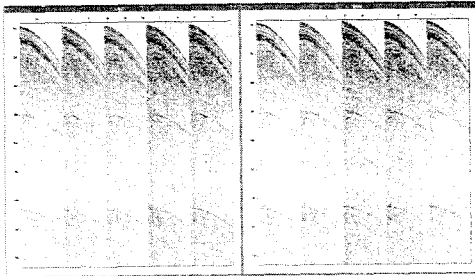
(a) (b)
Fig. 7. The results of bandpass filtering, before (a), after (b).

2.5 디콘볼루션

디콘볼루션은 수중어음(reverberation)이나 다중 반사파를 제거하고 파형을 예리하게 함으로써 탄성파의 지층 분해능을 높이는 과정이다. 여러 가지 디콘 분석법 중 실험적 디콘분석법을 사용하였다. 이것은 적당한 디콘 변수를 이용하여 디콘을 실시하고 그 결과를 입력자료와 시각적으로 비교하는 것이다.

여기에서는 속도분석 이전에 실시하는 디콘분석이므로 중합전 취합중 하나인 음원 모음에 대한 시각적 분석법을 사용하였다.

연산자의 길이를 60ms로 고정하고 지연시간(lag)을 시험하였다(Fig. 8). 240채널의 자료이므로 위글 도시(wiggle plot) 대신 가변밀도 도시(variable density plot)를 선택하였다. Fig. 8의 (a)와 (b)를 살펴보면 각각 6ms와 8ms가 가장 해상도가 좋아짐을 볼 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 6ms를 지연시간으로 결정하였다.



(a) (b)
Fig. 8. Deconvolution lag test. (a) is raw data, 2, 4, 6, 8. (b) is raw data, 4, 6, 8, 12. respectively.

그 후 지연시간을 6ms로 고정한 다음 연산자의 길이를 시험하였다(Fig. 9). 그림을 살펴보면 연산자의 길이가 60ms일 때와 80ms를 적용하였을 때 해상도가 가장 좋아짐을 볼 수 있었다.



(a) (b)
Fig. 9. Deconvolution operator length test. (a) is raw data, 10, 20, 30, 40. (b) is raw data, 50, 60, 70, 80 respectively.

지연 시간과 연산자의 길이를 늘려가며 시험한 결과 연산자의 길이는 60ms, 지연시간은 6ms를 적용하였을 때 디콘볼루션의 결과가 가장 좋아짐을 확인할 수 있었고 이를 적용하였다.

2.6 공심점 분류

공통 음원 모음도에 대한 발파지연 보정, 구형 발산 보정, 주파수 필터링, 디콘볼루션 등을 적용하고 나면 속도분석과 NMO 보정을 위한 공심점 분류를 수행한다. 다중채널 탄성과 탐사의 주목적은 공통 반사점을 갖는 기록을 중합시킴으로써 탄성과 단면도의 신호대 잡음의 비를 향상시키는데 있다.

공심점 분류 시 필요한 변수는 음원간격, 최대 중합수, 음원으로부터 첫 번째 수신기까지의 거리, 수신기 간격, 수신기 개수, 최소 공심점에 해당하는 탐사지점 번호 등이다. 연구 대상 자료는 음원간격이 수신기 간격의 2배이고 수신기 개수가 240개로 최대 64폴드를 이룬다. 이때 공심점 간격은 6.25m로 음원간격이 공심점 간격의 4배가 되어 공심점 번호는 "음원번호 × 4 - 수신기번호 + 1"로 결정된다. 이 같은 방법을 이용하여 속도분석을 위한 새로운 자료파일로 저장하였다. Fig. 10은 공심점모음 단면도의 시작 부분을 보여주고 있다. 매 4개의 트레이스마다 공심점이 증가하는 것을 볼 수 있으며 이는 공심점 분류가 정상적으로 이루어졌음을 의미하며 최대 중합수가 64폴드로 구성됨을 확인하였다.

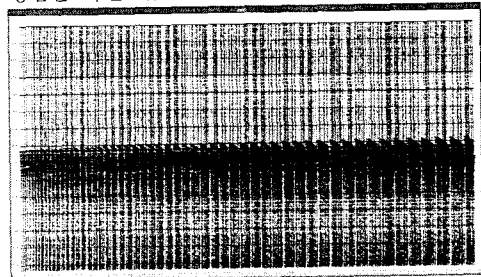


Fig. 10. Sorting.

2.7 속도분석

공심점 분류가 완료되면 탄성과 중합속도 결정

을 위한 속도분석이 수행된다. 속도분석 공정은 중합단면도에 직접 영향을 주므로 매우 중요한 공정이다. xva는 속도분석과 밀접한 관계가 있는 슈퍼게더 조립, 샘플링스 계산, 동보정, 뮤트, 중합과 같은 전산처리 공정을 동시에 지원하는 통합적인 대화식 속도분석 프로그램으로 정밀한 속도분석에 사용된다.

모든 공심점 취합도에 대하여 속도분석을 하는 것은 적절치 않으므로 여기에서는 4개의 공심점 취합도를 선택하여 매 100개 공심점마다, 즉 625m 간격으로 슈퍼게더를 생성하고 속도 스펙트럼을 반복적으로 계산하여 중합속도를 결정하였다. 대표적인 속도분석 결과는 Fig. 11에 있다. 오른쪽은 CDP 20,500, 왼쪽은 CDP 23,600에서 속도분석한 결과로 (a) 왕복주사시간 3.2초 부근에서 구간 속도가 감소하는 저속도층의 존재를 보이고 있고 (b)는 심도에 따라 속도가 증가하는 일반적인 속도분포 양상을 보이고 있다.

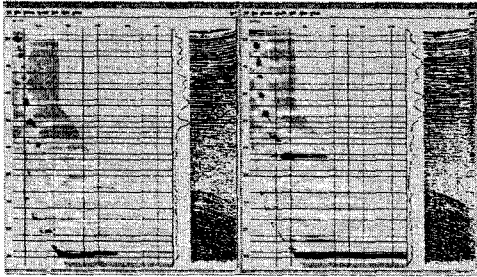


Fig. 11. (a), (b) are the results of velocity analysis at CDP 20,500 and CDP 23,600 respectively.

2.7 중합단면도

속도분석이 끝난 후 결정된 중합속도는 NMO 보정에 이용되어 중합단면도가 만들어진다. Fig. 12는 음원위치 5000에서 6000까지, 왕복주사 2,500-5,000ms까지의 지층 단면도를 도시한 것이다. 음원위치 5,00-5,610, 왕복주사 3,150ms 부근에서 해저면과 같은 방향으로 발달한 BSR을 볼 수 있으며 음원위치 5,500하부의 진폭공백대는 가스 삼출(gas seeping)에 의한 것으로 추정된다.

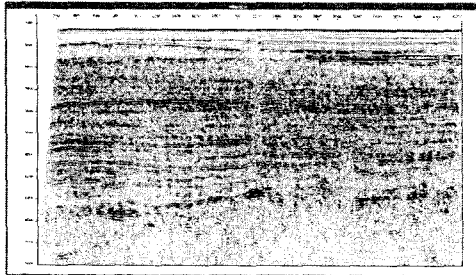


Fig. 12. Stack section.

3. 결론

한국지질자원연구원은 가스 하이드레이트의 부

존 유망 지역 파악을 위해 동해에서 탄성과 탐사를 실시하고 있다. 2005년에 취득된 자료 중 일부를 이용하여 BSR을 확인하기 위한 자료처리 과정의 최적 매개 변수를 분석하고자 하였다. 음원 발과 지연보정은 95ms, 구형발산 보정은 속도함수 3을 적용하였고, 대역 통과 필터는 25-30-115-120Hz, 디콘볼루션은 연산자 길이는 60ms, 지연시간은 6ms를 적용하였다. 정밀 속도분석 및 NMO 보정, 중합을 실시한 후 중합단면도로부터 왕복주사 약 3,150m/s에서 BSR로 추정되는 반사면을 확인하였다.

후기

본 연구는 한국 지질자원연구원이 수행하고 있는 산업자원부 출연사업 '해의석유가스 자원협력 및 기술정보 구축' 과제에서 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- [1] Kvenvolden, K. A., and Barnard, L. A., 1983, "Initial Report DSDP Project 76(Sheridan, R. E., Gradstein, F. et al., eds)", U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C., 353-365
- [2] Shipley, T. H., and Didyh, B. M., 1982, "Occurrence of methane hydrates offshore southern Mexico", Initial Report, DSDP Leg 66, U.S. Govt. Printing Office, Washington D.C., 547-555
- [3] 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.
- [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] Stoll, E. D. and Bryan, G. M., 1979, "Physical properties of sediments containing gas hydrates", J. Geophys. Res., 84, 1629-1634.
- [6] 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.
- [7] 장성형, 서상용, 정부홍, 류병재, 1999, "Geobit를 이용한 가스 하이드레이트 탐사자료처리", 물리탐사학회지, 제2권 4호
- [8] 서상용, 2003, "Geobit 2.11.0" - The seismic data processing tool.