

## BSR 확인을 위한 동해 가스 하이드레이트 탐사자료 처리

장 성형<sup>1)</sup>, 류 병재<sup>2)</sup>, 서 상용<sup>3)</sup>

### Seismic Data Processing for a BSR related to a Gas Hydrate of the East Sea

Seonghyung Jang, Byongjae Ryu, Sangyong Suh

Key words : Gas hydrate(가스 하이드레이트), BSR(해저면 기인 고진폭 반사파), Complex analysis(복소분석)

Abstract : 새로운 에너지 자원으로 활용 가능성을 포함하고 있는 가스 하이드레이트를 조사하기 위해 한국지질자원연구원에서는 동해일원에서 탄성과탐사를 실시하고 있다. 탄성과 반사자료로부터 가스 하이드레이트 부존여부를 확인하는 방법은 해저면과 평행하면서 위상이 반대로 나타나는 고진폭 반사파 BSR (Bottom Simulating Reflection)과 BSR 상부에서의 진폭감소, 하부에서 진폭증가와 구간속도 감소 등을 들 수 있다. 그러나 고진폭 반사파는 free gas 또는 실리카를 포함하는 퇴적층에서도 발생하므로 이를 구별할 수 있는 방법이 필요하다. 여기에서는 가스 하이드레이트 탐사자료에 대한 일반자료처리와 함께 가스층 존재 유무를 확인하는 방법으로 많이 이용되는 탄성과 복소분석법을 적용하였다. 가스 하이드레이트 부존 유망지역에 대해 순간진폭, 순간진폭에 대한 1차, 2차 미분, 순간위상, 순간주파수 단면도를 제작하여 중합단면도와 비교하였으며 그 결과 순간진폭단면도의 경우 강한 BSR이 나타나는 지층경계면에서 순간진폭변화 차이를 강하게 보였으며, 순간주파수 단면도의 경우 BSR 지역에서 고주파에서 저주파수로 변화함을 확인할 수 있었다.

#### Nomenclature

- f(t) : seismic trace
- g(t) : hilbert transform of f(t)
- F(t) : seismic complex trace
- A(t) : reflection strength
- $\theta$  : phase
- w : frequency

#### subscrip

- BSR : bottom simulated reflection
- AVO : amplitude versus offset

#### 1. 서 론

새로운 에너지원으로 중요성이 인식되고 있는 메탄 하이드레이트는 고압 저온 조건하에서 물과 메탄가스가 결합하여 형성된 고체상 화합물로 영구 동토지역과 수심이 깊은 해저의 천부 퇴적층에 광범위하게 분포되어 있는 것으로 알려져있다 (Makogon<sup>(1)</sup>, 1997). 메탄 하이드레이트의 안정 영역은 하이드레이트가 형성되어 해리되지 않고 안정하게 존재할 수 있는 영역으로 안정영역 하한에서 BSR 이 나타난다. BSR은 탄성과 단면도 상에서 하이드레이트로 포화된 퇴적층과 하부에 존재하는 가스 또는 물로 포화된 퇴적층 사이에

탄성과 속도 및 밀도 차이 때문에 상하 음향계수 차가 커서 생긴 큰 진폭을 나타내는 반사면으로 해저면과 평행하게 발달한 것을 말한다<sup>(2)</sup> (Kvenvolden and Barnard, 1983). 가스 하이드레이트 부존확인 은 탄성과 단면도에서 나타나는 BSR, AVO 해석 그리고 시추자료로부터 직접 확인하는 방법 등이 있다. AVO 분석 (Ostrander<sup>(3)</sup>, 1984; 양 동우 외 1인<sup>(4)</sup>, 1996) 은 BSR 상부에서 진폭감소현상이 발생하고 하부에는 가스에 의한 진폭증가 현상(Shibley et al.<sup>(5)</sup>, 1979; Andreassen et al.<sup>(6)</sup>, 1997) 이 나타난다. 또한 가스 하이드레이트를 포함하는 퇴적층의 구간속도 증가가 나타나며, 증가하는 정도는 하이드레이트의 양에 비례하는 것으로 알려져 있다<sup>(4)</sup> (Pearson et al.<sup>(7)</sup>, 1983). 이상에서 같이 탄성과 탐사자료로부터 하이드레이트를

- 
- 1) 한국지질자원연구원 석유해저부  
E-mail : jang@kigam.re.kr  
Tel : (042)868-3402 Fax : (042)861-0264
  - 2) 한국지질자원연구원 석유해저부  
E-mail : bjryu@kigam.re.kr  
Tel : (042)868-3211 Fax : (042)862-7275
  - 3) 한국지질자원연구원 석유해저부  
E-mail : sysuh@kigam.re.kr  
Tel : (042)868-3400 Fax : (042)861-0264

탐지하기 위해서는 구간속도와 진폭이 중요한 자  
임을 알 수 있다. 여기에서는 가스전 탐지에 주  
로 이용되는 복소분석을 실시하여 하이드레이트  
부존가능성 확인하고자 하였다. 한국지질자원연  
구원에서는 1997년부터 동해에서 메탄 하이드레  
이트 부존 유망지역을 조사하기 위해 탄성과 탐  
사를 수행해 왔으며 여기에서는 2004년 동해에서  
취득된 탄성과자료에 대해 일반적인 자료처리와  
복소분석을 Geobit-2.10.12 (서 상용<sup>(8)</sup>, 2004)  
을 이용하여 처리하였다. Geobit 은 1994년 교육  
/연구목적으로 개발되기 시작하여 현재  
ver.2.10.12 까지 발전해왔으며 약 676 파일,  
120,388 라인, 420,512 워드, 56 개 모듈로 이루  
어졌다. 급경사 구조보정 모듈, 음향계수 변환 모  
듈, 탄화수소 직접탐지 모듈, 복소분석 모듈등  
특수 자료처리 모듈을 포함하고 있으며, 특히 속  
도분석 모듈은 속도 스펙트럼을 반복적으로 구할  
수 있는 기능을 포함하고 있어 하이드레이트 탐  
사자료와 같이 정밀한 속도분석을 필요로 하는 자  
료에 적합하다 할 수 있다.

## 2. 자료처리

석유 및 가스 부존지역과 마찬가지로 하이드레  
이트 부존지역은 지질학적 물성이 크게 다른 지역  
으로 자료처리를 실시할 때 일반적인 자료처리 과  
정의에 정밀 자료처리 기술이 필요하다. 일반적인  
자료처리 과정으로는 트레이스 편집, 뮤팅, 구형  
확산 보정, 중합전 디콘, 주파수 대역 필터링, 공  
심점 분류, 속도분석, 동보정, 중합 등이고 정밀  
자료처리 과정으로는 BSR 확인을 위한 정밀 속도  
분석 등이 있다. 여기에서는 2004년 동해에서 취  
득된 탄성과 자료에 대해 속도분석을 통한 구간속  
도 변화, BSR 구간에서 상하 지층간의 물성 변화  
를 확인하기 위한 복소 트레이스 분석을 하고자  
한다. 일반적인 자료처리 공정은 Fig. 1에 있다.

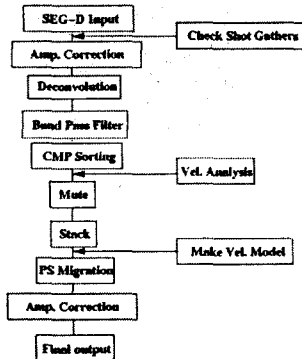


Fig. 1 Flow chart for gas hydrate data set.

## 3. 복소분석

탄성과 자료로부터 지역적으로 나타나는 물성  
변화에 따른 지질정보를 파악하기 위해서는 진폭  
과 위상 그리고 주파수 변화 분석이 필요하고 이

러한 요소들은 복소 트레이스 분석으로부터 계산  
된다. 탄성과 복소 트레이스 분석에 의한 탄성과  
속성 값은 탄성과 자료로부터 지질정보를 획득할  
수 있는 모든 값을 의미하는 것으로, 주로 지진파  
신호분석 (Farnbach<sup>(9)</sup>, 1975), 탄성과 중합단면  
도에 대한 순간 특성값 (Turner and Sheriff<sup>(10)</sup>,  
1977) 그리고 중합 단면도상에서 박층 규명  
(Robertson and Nogami<sup>(11)</sup>, 1984)에 응용되었다.  
여기에서는 BSR 하부에 존재하는 가스부존 가능성  
에 대한 지질정보를 파악하기 위해 순간 진폭, 순  
간 위상, 순간 주파수 값을 구하고 분석하였다.

### 3.1 절 순간 진폭 (reflection strength) 및 순간 진폭의 미분 값

탄성과 복소 트레이스  $F(t)$ 는 탄성과 트레이스  
 $f(t)$ 를 복소 트레이스의 실수 (real part)로  
간주하고 트레이스  $F(t)$ 에 대한 힐버트 변환을  
허수로 간주하여  $F(t) = f(t) + ig(t)$ 로 나타낸  
다. 실수영역 탄성과 트레이스  $F(t)$ 를 시간함수  
로 된 진폭과 위상으로 나타내면  
 $f(t) = A(t)\cos\theta(t)$  이고, 허수영역 트레이스  
 $g(t) = A(t)\sin\theta(t)$  이다. 따라서 복  
소 트레이스는

$$F(t) = f(t) + ig(t) = A(t)e^{i\theta(t)} \quad (1)$$

이 된다.  $F(t)$ 와  $g(t)$ 로부터 순간진폭  
(reflection strength)  $A(t)$  와 순간위상  
(instantaneous phase)  $\theta(t)$ 를 구할 수 있다. 즉  
순간 진폭은,

$$A(t) = \sqrt{f^2(t) + g^2(t)} = |F(t)| \quad (2)$$

으로 상하 지층간의 반사파 강도의 변화를 분  
석할 수 있다. 반사파 강도의 최대는 트레이스 신  
호의 최대, 최소점보다 위상이 바뀌는 지점이나  
특히 여러 개의 반사파 합성으로 이루어진 트레이스  
지점에서 나타나며, 강한 순간 진폭 강도는 암  
석학적 변화와 밀접한 관련이 있는데 부정합면,  
해저면의 급격한 변화가 있는 경계면, 특히 가스  
가 존재하는 곳에서 나타난다 (Turner and Sheri  
ff<sup>(10)</sup>, 1977). 순간 진폭의 시간에 대한 1차  
미분 값은 순간 진폭의 시간 변화율을 말하는 것  
으로 반사파의 에너지 변화에 정보를 나타내는데  
파쇄대지역과 같은 에너지 흡수를 영향을 받는 지  
역에서의 물리적인 정보를 추정하는데 이용된다  
(Turner<sup>(12)</sup>, 1992). 순간 진폭에 대한 2차 미분  
( $= \frac{d^2A(t)}{dt^2}$ )은 순간진폭의 최대값을 나타내므로 반  
사 경계면을 나타내는데 유용하다. 따라서 순간  
진폭의 2차 미분 값은 탄성과 파형 내에 존재하는  
모든 반사 경계면을 보여주며, 암석학적 급격한  
변화를 보여준다 (Turner, 1992).

### 3.2 절 순간위상

탄성과 복소 트레이스 식 (1) 로부터 순간 위상 값은

$$\theta(t) = \tan^{-1}\left(\frac{g(t)}{f(t)}\right) \quad (3)$$

이 된다. 위상 단면도는 지층 경계면의 불연속성, 단층, 핀치아웃, 서로 다른 경사층에서 반사 신호 등을 효과적으로 나타낼수 있어 탄성 퇴적층서 경계면을 구분할 때 효과적으로 활용된다.

### 3.3 절 순간주파수 및 가중평균 순간주파수

시간에 따른 위상 변화율은 식 (3)으로부터

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = w(t) \quad (4)$$

이므로 순간 위상을 대입하면

$$w(t) = \frac{d}{dt} \tan^{-1}\left(\frac{g(t)}{f(t)}\right) \quad (5)$$

$$w(t) = \frac{f(t) \frac{dg(t)}{dt} - g(t) \frac{df(t)}{dt}}{f^2(t) + g^2(t)}$$

되어 순간 주파수를 계산할 수 있다. 순간 주파수는 순간위상 단면도처럼 시간영역에서 한 점에 대한 순간 주파수를 나타낸다. 핀치아웃, 탄화수소-물 경계면 같은 곳에서 순간 주파수는 급격하게 변한다. 가스샌드나 컨덴세이트, 저류층 하부 반사층에서는 고주파수에서 저주파수로 이동하는 저주파수 암영대 현상이 나타난다. 가중 평균주파수는 저 주파수 및 고 주파수 영역을 필터링 한 가중치 함수로 순간 진폭을 이용하여 완만하게 한 것으로 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{w}(t) = \frac{\sum_T A(t) \text{freq}(t)}{\sum_T A(t)} \quad (6)$$

여기서  $T$ 는 시간축 원도 길이,  $A(t)$ 는 순간 진폭 그리고  $\text{freq}(t)$ 는 순간 주파수이다. 가중평균 주파수는 흡수율이 높은 두꺼운 층에서 기인하는 짧은 파장에 의한 영향을 적게 받아 긴 파장에 대한 변화를 고찰하는데 이용된다.

### 4. 현장자료분석

위에서 본 바와 같이 순간 특성 값들은 중합 단면도로부터 진폭과 주시에 대한 정보뿐 아니라 탄성과 반사자료에서 지하 지질구조의 물성을 파악하는데 중요한 역할을 하므로 관심대상 지역의 중

합 단면도에 대한 트레이스 복소분석을 통해 순간 진폭, 순간 위상, 순간 주파수를 분석하였다. Fig. 2는 기본 자료처리가 끝난 중합단면도로 음원 971-6136까지, 기록시간 2-3.6초까지의 기록을 나타낸 것이다. Fig. 3은 음원번호 2100-2200 부분을 확대한 것으로 왕복주시 3.38초 부근에서 해저면과 평행하게 발달하면서 위상이 반대로 나타나는



Fig. 2 Seismic profile.

BSR을 보여준다. 탄성과 고진폭 반사파는 가스 하이드레이트의, bright spot, flat spot처럼 free gas가 존재하는 지역, 실리카를 포함하는 퇴적층에서도 나타난다. 따라서 추가적인 분석방법인 복소분석결과를 나타내었다. Fig. 4는 중합 단면도에 대한 순간진폭 단면도를 나타낸다. (a)는 중합단면도에 대한 순간진폭 단면도로 그림에서 보듯이 SP 2000-2100 구간, 왕복주시 약 3.38 부근에서 중합단면도상에서 BSR이 보이지 않았던

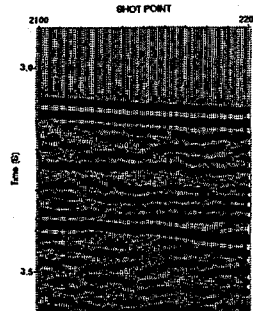


Fig. 3 Part of seismic profile showing the high amplitude reflection within SP 2100-2200.

강한 지층경계면에서는 순간진폭 변화가 없으나 BSR이 강하게 나타나는 SP 2260-2340 구간, 2420-2500 구간에서 순간진폭 변화가 강하게 나타남을 보여준다. (b)는 (a)에 대한 2차 미분결과로 반사경계면을 선명하게 나타내는 역할을 한다. (c)는 순간위상단면도로 관심지역에 대한 위상변화를 나타내며 지층경계면의 연속성을 보여준다. 위상단면도는 하이드레이트 퇴적층내 BSR 반사면을 끊고 지나가는 반사면을 나타내는데 유용하지만 본 분석에는 이러한 현상을 확인하기 어려웠으며 BSR로 여길 만한 부분에서 위상이 바뀌는 현상은 확인할 수 있었다. (d)는 순간주파수 단면도로 BSR이 나타는 지역에서 순간주파수 변화율이 고주파에서 저주파수 변화함을 나타낸다. 이상에서 보

듯이 탄성과 특수 단면도는 개략적인 물성에 대한 정보를 제공함을 알 수 있다.

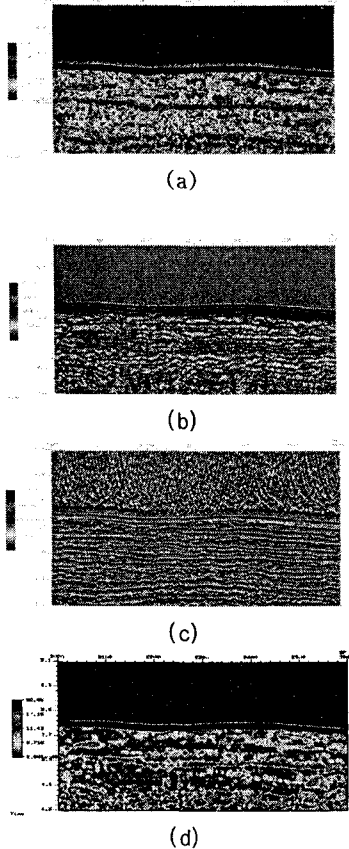


Fig. 4 The results of the complex analysis. (a) is the reflection strength, (b) is the second derivative of (a), (c) is the instantaneous phase, and (d) is the instantaneous frequency.

## 5. 결론

한국지질자원연구원에서는 2004년도 동해에서 가스 하이드레이트 부존가능성 조사를 목적으로 탄성과 자료를 취득하였으며 이에 대한 자료처리를 자체 개발된 geobit 에 의해 일반자료처리와 특수전산처리를 실시하였다. 이미 탐사된 동해의 타 지역에 비해 전반인 BSR을 나타내는 지역이 발달되지 않았으며 이중 BSR이 나타나는 지역에 대한 복소분석을 통해 순간진폭, 순간위상, 순간주파수 단면도를 제작하여 중합단면도와 비교하였다. 순간진폭 단면도의 경우 강한 BSR이 나타나는 지층경계면에서 순간진폭변화 차이를 강하게 보였으며, 순간주파수 단면도에서 경우에는 BSR 지역에서 고주파수에서 저주파수로 변화함을 확인할 수 있었다. 이는 BSR 하부에 저속도층으로 여길 수 있는 가스층이 존재한다고 가정할 수 있을 것

이다.

## References

- [1]Makogon, Y. F., 1997, Hydrate of hydrocarbons, PennWell Pub., Tulsa, Oklahoma, U.S., 482p.
- [2]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.
- [3]Ostrander, W. J., 1984, Plane wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence, Geophysics, 49, 1637-1648.
- [4]양 동우, 양 승진, 1996, AVO 및 복소분석에 의한 천연가스 저류층 탐지에 관한 연구, 한국 자원공학회지, 제 33 권, 제 5호, 340-348.
- [5]Shibley, T. H. and 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., 63, 2204--2213.
- [6]Andreassen, K., Hart, E. H. and MacKay, M., 1977, Amplitude versus offset modeling of the bottom simulation reflection associated with submarine gas hydrate, Marine Geology, 137, 25-40.
- [7]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.
- [8]서 상용, 2005, Geobit-2.10.14 - the Seismic Data Processing Tool, 한국지질자원연구원.
- [9]Farnbach, J. S., 1975, The complex envelope in seismic signal analysis, BSSA, 65, 951-962.
- [10]Turner, M. T., and Sheriff, R. E., 1977, Application of amplitude, frequency, and other attributes to stratigraphic and hydrocarbon exploration, C. E. Payton, Ed., AAPG Memoir 26, Tulsa, Am. Assn. Petroleum Geologists, 301-327.
- [11]Robertson, J. D., and Nogami, H. H., 1984, Complex seismic trace analysis of thin beds, Geophysics, 49, 344-352.
- [12]Turner, M. T., 1992, Attributes revisited, technical papers in Rock Solid Images.