

천연 가스 탐지를 위한 국내 대륙붕 탄성파자료 처리

장성형¹⁾ · 선우 돈¹⁾ · 양동우²⁾ · 서상용¹⁾ · 정부흥¹⁾

Korea Offshore Seismic Data Processing for Gas Detection

Seonghyung Jang¹⁾, Don Sunwoo¹⁾, Dongwoo Yang²⁾, Sang Young Suh¹⁾ and Bu Heung Chung¹⁾

요 약 : 탄성과 중합 단면도 상에서 천연가스 부존 여부를 지시하는 명점(bright spot)은 가스 층이외에 음향계수 차이가 큰 지층에서도 나타나므로 가스 층여부를 판단하기 위해서는 속도분석, AVO 분석, 탄성과 복소 트레이스 분석 등 추가적인 정밀 자료처리가 필요하다. 본 연구에서는 가스 층 추정을 위해 정밀 속도분석과 트레이스 복소분석 그리고 입사각에 따른 진폭변화 결과인 탄화수소 직접 지시 단면도(DHI) 분석을 실시하였다. 트레이스 복소분석은 지층 상·하간의 물성변화에 따른 지질정보를 제공하는것으로 여기에서는 순간 진폭, 순간 진폭에 대한 1차 및 2차 미분 값, 순간 위상, 순간 주파수, 가중평균 순간 주파수 값을 구하여 시추가 이루어진 국내 대륙붕 탄성파 자료에 적용하였다. 자료처리 결과 가스가 부존할 가능성이 높은 지역에서는 순간 진폭, 순간 주파수 단면도 그리고 AVO 분석에 의한 DHI 단면도에서 공통적으로 탄성과 진폭이상 이 나타나며 정밀 자료처리 결과 중 어느 한 곳이라도 진폭이상 이 나타나지 않으면 가스 부존 가능성이 낮다고 할 수 있다.

Abstract : The bright spot is an indicator for natural gas on seismic stack sections, but it is also shown on layers where the acoustic impedance contrast is large. In order to distinguish sharply between gas and impedance contrast we need additional detailed data processing such as velocity analysis, AVO analysis and seismic complex analysis including measures of seismic amplitude, frequency, and phase. In this study, we performed detailed velocity analysis, complex analysis and DHI (Direct Hydrocarbon Indicator) analysis which is the result of amplitude variation according to the incident angles. The seismic complex analysis gives us the geological information which depends on geophysical properties at the interest layer. For the complex analysis, we computed several seismic attributes such as the instantaneous amplitude, the first and the second derivatives of the instantaneous amplitude, the instantaneous phase, the instantaneous frequency and weighted average instantaneous frequency. Then we applied these analysis techniques to a seismic data of Korea offshore which had been logged. From the result of this data analysis, it could be said that high possibility area for gas layer detection has amplitude anomalies in the instantaneous amplitude, the instantaneous frequency and the DHI section resulting from the AVO analysis. If there are not any other anomalies in detailed data processing, it will have low possibility for gas layer detection.

Keywords :

서 론

탄성과 중합 단면도에서 상대적으로 강 진폭을 나타내는 명점은 일반적으로 천연가스가 집적된 곳으로 추정한다. 그러나 명점은 가스층이외 음향계수 차이가 큰 지층에서도 나타나므로 이들 지층 종류를 구별하기가 쉽지 않기 때문에 반사각도에 따른 진폭변화를 분석하는 방법(Amplitude Variation with Offset: AVO) 주로 이용되고 있다(Domenico, 1976; Gregory, 1976; Koefoed, 1956; Ostrander, 1984; 양동우 외, 1996). 또한 명점과 AVO 분석이외에 천연가스 층을 추정하는

방법으로 탄성과 복소 트레이스 분석을 이용한다(Tarner and Sheriff, 1977). 탄성과 복소트레이스 분석은 탄성과 트레이스를 복소신호 분석의 실수부로 간주하고 허수부분을 트레이스의 힐버트 변환을 적용하여 복소신호를 만들고 이로부터 순간 진폭, 순간 위상, 순간 주파수 등으로 불리는 탄성과 특성 값을 구하여 지층 상하간의 물성변화에 따른 지질정보를 획득하기 위한 방법이다. 이들 탄성과 특성 값들은 가스 층을 제외하고는 각각 독립적으로 직접 적용하여 지질정보를 획득하기가 어려운것으로 알려져있다(White, 1991).

본 연구에서는 국내 대륙붕에서 천연가스 부존 유망 지역

*2001년 6월 15일 접수

1) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부

2) 서울대학교 지구환경시스템공학부

탐지를 위해 속도분석, 탄화수소 지시 단면도, 탄성과 복소분석을 적용하고자 한다. 적용된 자료는 국내 대륙붕에서 취득한 탄성과 자료중 특이할 만한 탄성과 특성이 나타나는 축선으로 시추가 이루어졌던 자료이다. 선택된 자료는 일반적인 자료처리와 함께 직접 탄화수소 부존 가능성을 조사할 수 있는 AVO 분석을 실시하여 DHI 단면도를 제작하였으며 복소 트레이스 분석을 통하여 순간 진폭(반사파 강도), 순간 진폭에 대한 1차 및 2차 미분, 순간 위상, 순간 주파수, 가중평균 순간 주파수 변화를 분석하였다.

탄성과 자료처리는 Geobit 2.10.1(서상용, 2000)에 의해 실시되었으며 자료처리 시스템의 운영체제는 Linux-2.2.16, PII-331 MHz, 256 MB 보조기억장치, 400GB 파일서버로 이루어져 있다.

자료처리

석유 및 가스 부존지역과 같이 지질학적 물성이 크게 다른 지역에서 자료처리는 일반적인 자료처리 과정외에 정밀 자료처리 기술이 필요하다. 일반적인 자료처리 과정으로는 트레이스 편집, 뮤팅, 구형확산 보정, 중합전 디콘, 주파수 대역 필터링, 공심점 분류, 속도분석, 동보정, 중합 등이고 정밀 자료처리 과정으로는 정밀 속도분석, 탄화수소 직접탐지 단면도 제작, 순간 진폭 단면도, 순간 주파수 단면도, 순간 위상 단면도 제

작이다. 본 연구에서는 국내 대륙붕 탄성과 자료에 대해 천연 가스 부존 여부를 추정하기 위해 지층단면도와 탄화수소 직접 지시 단면도, 그리고 특수 탄성과 단면도를 제작하였으며 이때 적용된 자료처리 과정은 Fig. 1에 있다. 여기에서는 연구대상 자료에 대해서 속도분석을 통한 구간속도 변화, 상·하 지층간의 물성 변화를 확인하기 위한 복소 트레이스 분석, 그리고 AVO 분석 결과인 DHI 단면도로부터 관심 대상지역에 대한 가스층 특성을 파악하고자 한다.

정밀 속도분석

전처리과정이 끝나고 공심점 분류가 완료되면 탄성과 중합 속도 결정을 위한 속도분석이 필요하다. 자료처리 과정에서 중합속도를 결정하는 속도분석은 중합단면도에 직접영향을 주므로 매우 중요한 과정이다. 모든 공심점 취합도에 대해 속도분석을 실시하는 것은 많은 시간과 노력이 필요하고 단층, 습곡, 암염 돔 구조등과 같이 복잡한 지형을 제외하고는 실제 지층 구조는 급격한 변화를 보이지 않으므로 바람직하지 않다. 따라서 몇개의 공심점 취합도를 선택하여 슈퍼게더를 생성하고 이것을 속도분석의 입력자료로 이용한다. 여기에서는 4개의 공심점 취합도를 선택하여 슈퍼게더를 만들었으며, 정확한 속도 분석을 위해 잡음을 제거한 후 속도 스펙트럼을 반복적으로 계산하여 중합속도를 결정하였다(서상용 외, 1999). Fig. 2는 대표적인 속도분석 결과와 중합속도 및 구간속도를 동시에 도

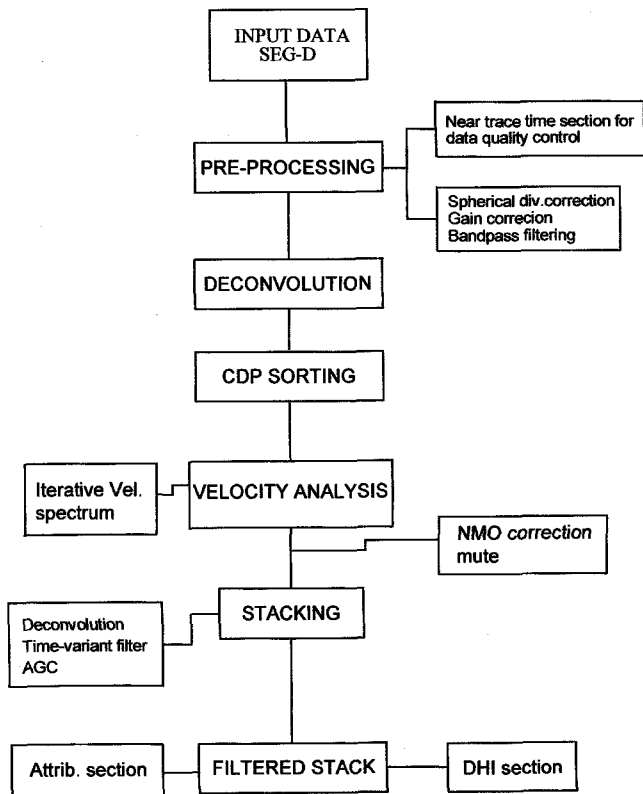


Fig. 1. A processing job sequence.

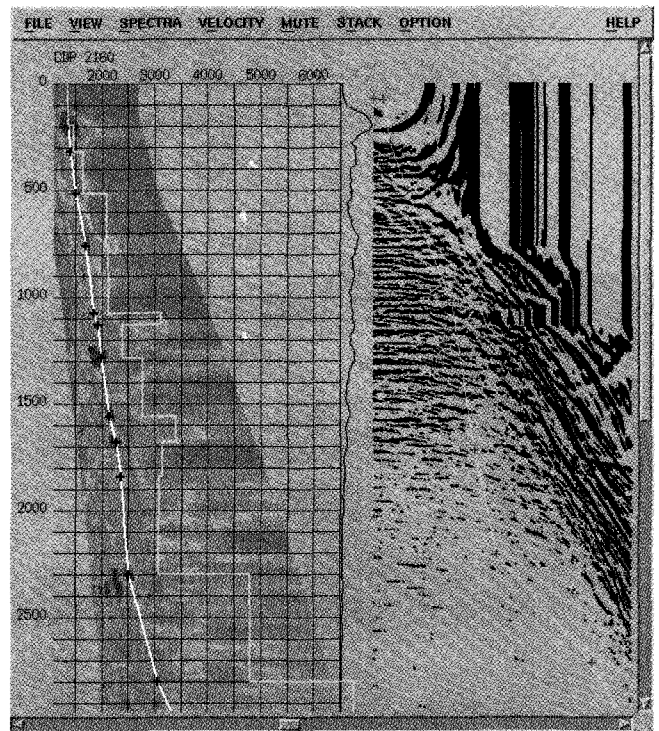


Fig. 2. The velocity analysis result by XVA. Semblance, velocity picking, NMO velocity, interval velocity and NMO results are shown.

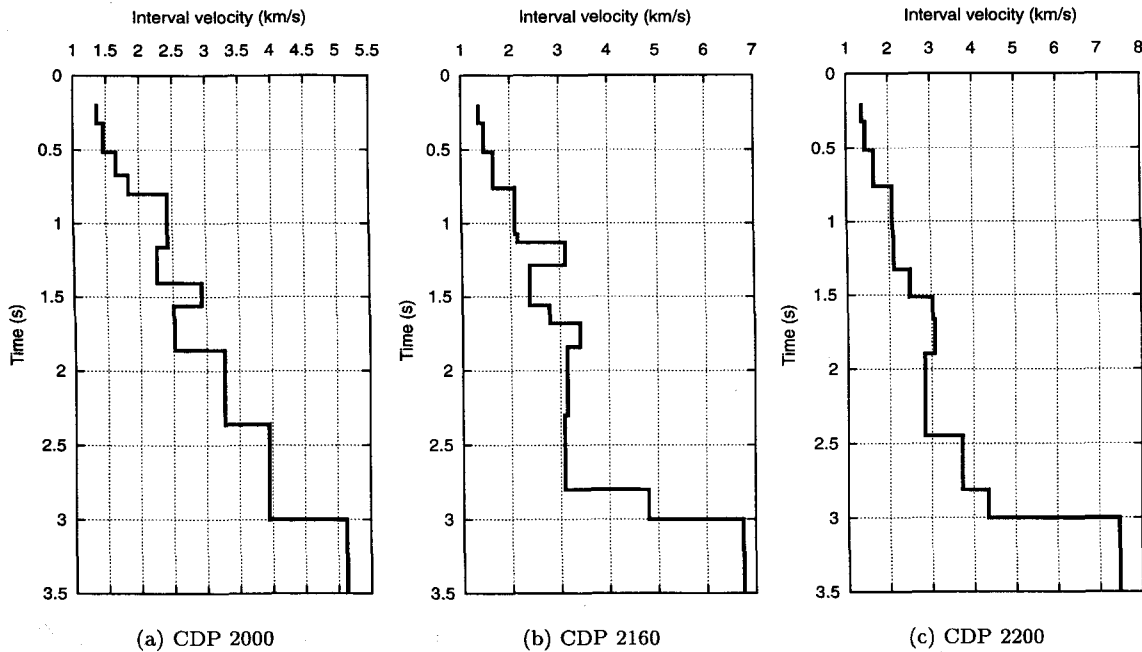


Fig. 3. Interval velocity profile versus time calculated from NMO velocity at CDP 2000, 2160 and 2200.

Table 1. NMO and interval velocities by Dix's equation

	Time (s)	NMO Vel. (m/s)	Int. Vel. (km/s)	Int. Depth (m)	Depth (km)
CDP 2000	0.18	1362.9	1.36	0.12	0.12
	0.31	1403.5	1.46	0.09	0.22
	0.51	1501.4	1.64	0.16	0.38
	0.67	1585.3	1.83	0.14	0.52
	0.80	1748.6	2.42	0.15	0.68
	1.15	1921.5	2.25	0.40	1.09
	1.40	2131.4	2.92	0.35	1.45
	1.55	2171.9	2.50	0.19	1.64
	1.86	2383.7	3.27	0.49	2.13
2.35	2789.2	3.94	0.98	3.12	
3.00	3426.6	5.13	1.64	4.76	
CDP 2160	0.19	1362.9	1.36	0.13	0.13
	0.31	1403.5	1.46	0.09	0.22
	0.51	1501.4	1.64	0.16	0.38
	0.75	1713.6	2.09	0.25	0.64
	1.07	1848.3	2.13	0.33	0.97
	1.13	1929.2	3.11	0.08	1.06
	1.28	1989.8	2.38	0.18	1.24
	1.55	2151.6	2.78	0.38	1.63
	1.67	2264.9	3.41	0.20	1.83
	1.84	2353.9	3.13	0.25	2.08
2.29	2515.7	3.07	0.70	2.79	
2.79	3053.3	4.80	1.20	3.99	
3.00	3426.6	6.75	0.67	4.67	
CDP 2200	0.20	1374.4	1.37	0.13	0.13
	0.31	1403.5	1.45	0.08	0.22
	0.51	1501.4	1.64	0.16	0.38
	0.75	1713.6	2.09	0.25	0.64
	1.10	1846.1	2.11	0.35	1.00

Table 1. Continued

	Time (s)	NMO Vel. (m/s)	Int. Vel. (km/s)	Int. Depth (m)	Depth (km)
	1.32	1969.6	2.48	0.27	1.28
	1.51	2131.4	3.02	0.28	1.56
	1.66	2232.5	3.07	0.23	1.79
	1.89	2313.4	2.83	0.32	2.12
	2.45	2697.7	3.72	1.03	3.15
	2.80	2960.6	4.34	0.78	3.93
	3.00	3426.6	7.46	0.70	4.64

시한 결과이고, 오른쪽에는 잡음을 제거하기 위한 뮤트함수와 NMO 보정된 슈퍼게더의 결과이다. 그림에서 보듯이 1 차 속도 스펙트럼을 구한 후 NMO 보정과 외부 뮤팅을 실시한 후 재차 속도 스펙트럼을 구한 것이다. CDP 2000, 2160, 2200에서 실시한 속도분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 가스층에서 나타나는 현상인 저속도층을 포함하는 구간이 여러 곳에 존재함을 알 수 있다. 대표적인 속도분석 결과인 중합속도와 구간속도는 Table 1에 있다.

중합 단면도

탄성과 자료의 최종 결과는 중합단면도와 구조보정 단면도이다. 다중채널 탄성과 자료의 중합은 신호대 잡음의 비를 높이는 가장 중요한 전산처리 과정이다. 정밀 속도분석이 끝난 후 공심점자료의 동보정과 뮤팅을 거쳐 수평중합을 실시하여 중합 단면도가 완성되었으며 그 결과는 Fig. 4에 있다. 그림에서 가로 축은 CDP 번호를 세로 축은 왕복주기를 ms로 나타낸 것이다. Fig. 4는 과거에 시추가 수행되었던 지점을 통과하

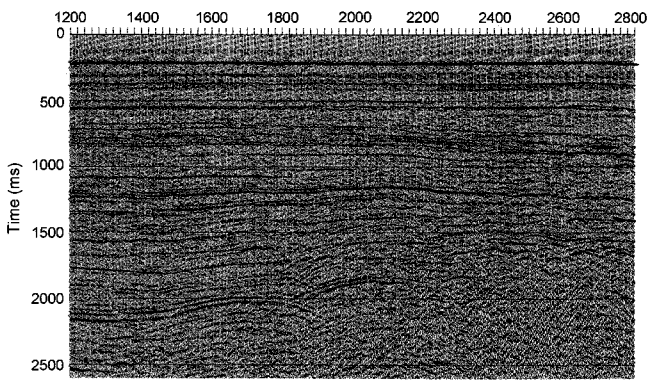


Fig. 4. The stacked section.

는 탄성과 축선으로 CDP 1400-2400 사이 왕복주시 약 1200~1300 ms 부근에 비교적 저 기복(low relief)의 탄성과 진폭이상이 나타난다. 과거에 시추가 수행되었던 지점을 지나는 탄성과 축선은 이미 시추결과를 알고 있기 때문에 탄성과 정밀 자료 처리 결과와 시추결과를 서로 비교할 수 있는 장점이 있다. 본 그림의 CDP 2160에서 시추가 이루어졌으며 시추결과 이곳에서는 가스징후(gas show)가 나타났다.

위에서 본 바와 같이 탄성과 자료상에서 몇몇 탄성과 진폭 이상이 나타남을 알 수 있지만 탄성과 단면도 상에 나타나는 진폭의 크기와 왕복주시 정보로부터 탄화수소 부존 가능성을 알아보는 것이 거의 불가능하다. 따라서 완성된 지층 단면도로부터 지층구조 해석뿐 아니라 보다 정밀하고 유용한 정보를 얻기 위하여 여기에서는 반사파 강도, 순간 위상, 순간 주파수에 의한 지층 단면도를 재 구성하고 아울러 AVO 분석에 의해 탄화수소 직접지시 단면도를 작성하여 탄화수소 부존 가능성을 알아보았다.

특수 탄성과 단면도 분석

시계열(time series) 형태인 탄성과 자료로부터 중요한 지하 정보를 파악하기 위해서는 탄성과 반사자료를 여러가지 방법으로 변환하여 분석한다. 시간영역에서 주파수 영역으로 변환하는 푸리에 변환은 자료해석에서 이용되는 가장 일반적인 방법으로 트레이스에 대해서 개략적으로 평균적인 특성 밖에 나타내지 못한다. 따라서 지역적으로 나타나는 물성변화에 따른 지질정보를 파악하기 위해서는 진폭과 위상 그리고 주파수 변화 분석이 필요하고 이러한 요소들은 복소 트레이스 분석으로부터 계산된다. 탄성과 복소 트레이스 분석에 의한 탄성과 속성 값은 탄성과 자료로부터 지질정보를 획득할 수 있는 모든 값을 의미하는 것으로, 주로 지진파 신호분석(Farnbach, 1975), 탄성과 중합단면도에 대한 순간 특성값(Tarner and Sheriff, 1977; Sicking, 1978; Tarner *et al.*, 1979) 그리고 중합 단면도 상에서 박층 규명(Robertson and Nogami, 1984)에 응용되었다.

본 연구에서는 국내 대륙방 자료에서 가스부존 가능성에 대

한 지질정보를 파악하기 위해 순간 진폭, 순간 진폭에 대한 1, 2차 미분, 순간 위상, 순간 주파수, 가중평균 순간 주파수 값을 구하고 분석하였다.

탄성과 복소트레이스(complex trace) 계산 및 특성

탄성과 트레이스는 양의 방향 시계열(causal time series)이므로 복소 신호의 실수영역으로 간주하면 복소신호의 허수영역은 탄성과 트레이스에 대한 힐버트 변환으로 직접 구할 수 있다. 힐버트 변환은 한 쪽방향으로 진행하는 시계열의 푸리에 변환을 말하며 진폭 스펙트럼은 변화시키지 않으나 $\pi/2$ 또는 $-\pi/2$ 만큼 위상이 바뀌는 특성을 지니고 있다. 탄성과 복소 트레이스 계산은 트레이스와 이의 힐버트 변환으로부터 순간 진폭, 순간 위상 그리고 순간 주파수 변화를 구할 수 있다 (Bracewell, 1965). 순간 특성 값들은 임의의 샘플 지점에서 탄성과 파형을 집중적이고 정량적으로 표현하여 지하 지질학적 층서구조의 물리적 특성을 파악하는데 쓰인다. 이러한 순간 특성 값들 중 가스 샌드의 경우에 있어서는 직접적인 해석이 가능하지만 그 외 지역에서는 순간 특성 값 자체로 직접적인 해석하기가 어렵다(White, 1991).

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 나타낸다. 실수영역 탄성과 트레이스 $f(t)$ 를 시간함수로 된 진폭과 위상으로 나타내면 $f(t)=A(t) \cos \theta(t)$ 이고 허수영역 트레이스 $g(t)$ 는 $g(t)=A(t) \sin \theta(t)$ 이다. 따라서 복소 트레이스는

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

이 된다. $f(t)$ 와 $g(t)$ 를 알고 있는 경우 순간진폭 (reflection strength) $A(t)$ 와 순간위상(instantaneous phase) $\theta(t)$ 를 구할 수 있다(Bracewell, 1965). 즉 순간 진폭은,

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

으로 상하 지층간의 반사파 강도의 변화를 분석할 수 있다.

순간 진폭은 위상과는 무관한 트레이스 신호에 대한 봉투함수(envelope)의 진폭을 말하고, 반사파 강도의 최대는 트레이스 신호의 최대, 최소점보다 위상이 바뀌는 지점이나 특히 여러 개의 반사파 합성으로 이루어진 트레이스 지점에서 나타난다. 따라서 최대 순간 진폭은 트레이스 신호의 최대, 최소 진폭을 나타내는 지점과는 다르게 나타난다. 강한 순간 진폭 강도는 암석학적 변화와 밀접한 관련이 있는데 부정합면, 해저면의 급격한 변화가 있는 경계면, 특히 가스가 존재하는 곳에서 나타난다(Tarner and Sheriff, 1977).

순간 진폭은 또한 에너지 변화율을 나타내는데 이용할 수 있다. 순간 진폭의 시간에 대한 1차 미분 값은 순간 진폭의 시

간 변화율을 말하는 것으로 반사파의 에너지 변화에 정보를 나타낸다. 순간 진폭의 1차 미분 값($\frac{dA(t)}{dt}$)은 반사파의 에너지 흡수율과 관계가 있어 완만한 기울기는 보다 큰 에너지 흡수율을 의미하고 급한 기울기를 나타내는 곳에서는 광대역 주파수 대역으로 흡수율이 적게 나타난다. 따라서 파쇄대지역과 같은 에너지 흡수율에 영향을 받는 지역에서의 물리적인 정보를 추정하는데 이용된다(Tarner, 1992).

순간 진폭에 대한 2차 미분($\frac{d^2A(t)}{dt^2}$)은 순간 진폭의 최대 값을 나타내므로 반사 경계면을 나타내는데 유용하다. 따라서 순간 진폭의 2차 미분 값은 탄성과 파형내에 존재하는 모든 반사 경계면을 보여주며, 암석학적 급격한 변화를 보여준다(Tarner, 1992).

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. 순간 위상은 시간영역에서 한 점으로 표시되므로 반사 경계면 연속성 특성을 나타내며 복소 트레이스의 최고점, 0, 최저점으로 나타내므로 모든 트레이스의 위상각을 표현할 수 있다. 순간 위상은 반사강도와 무관하므로 약한 반사신호를 좀더 명확하게 해준다. 위상 단면도는 지층 경계면의 불연속성, 단층, 펀치아웃, 서로 다른 경사층에서 반사 신호 등을 효과적으로 나타낼수 있어 탄성 퇴적 층서 경계면을 구분할 때 효과적으로 활용된다(Payton, 1977).

순간 주파수 및 가중평균 순간 주파수

시간에 따른 위상 변화율은 식 (3)으로부터

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

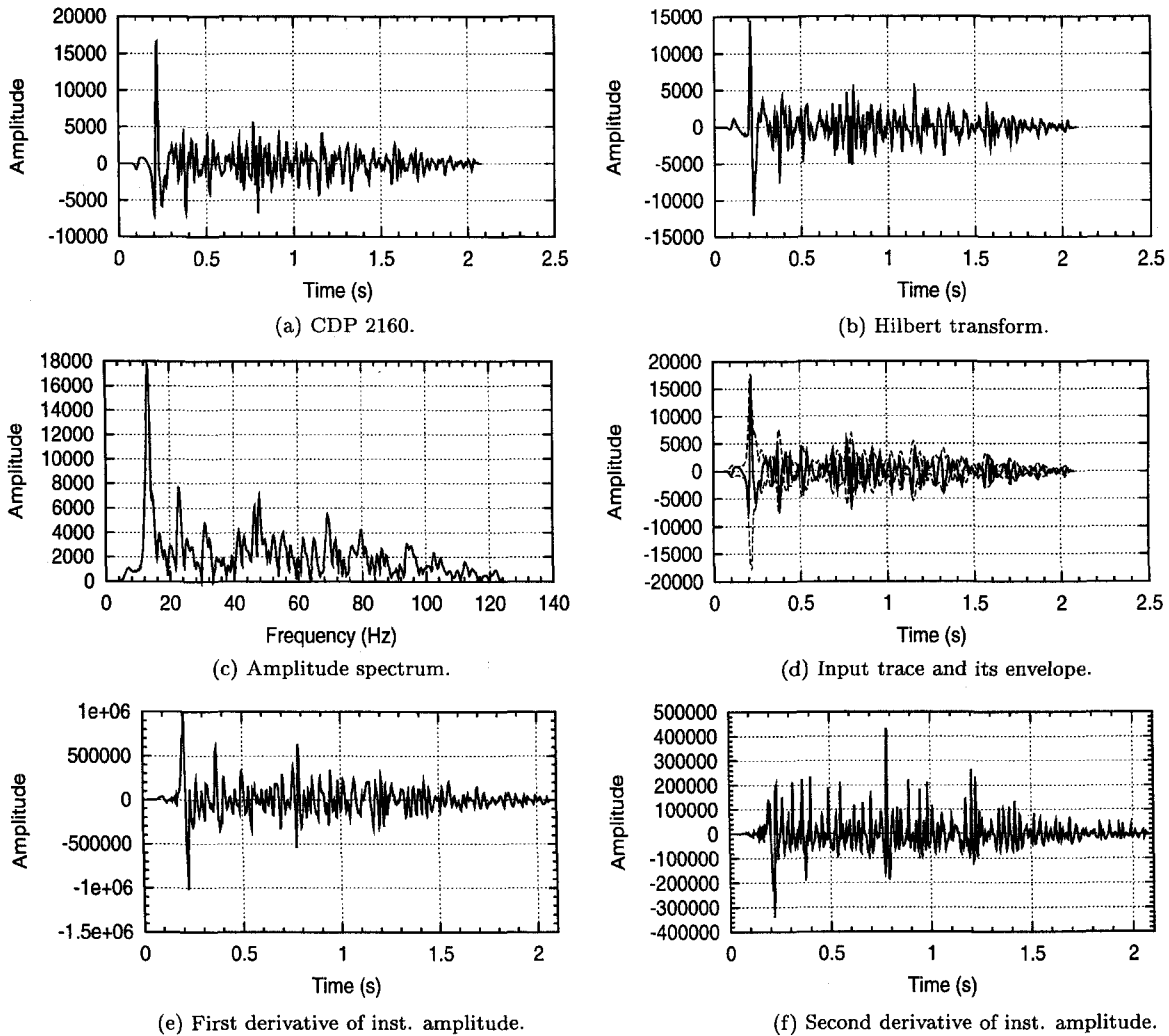


Fig. 5. Results of the instantaneous reflection and its derivatives for CDP 2160 shown in Fig. 4. (a) is an input trace, (b) is an Hilbert transform, (c) is an amplitude spectrum, (d) is an input trace and its envelope, (e) is the first derivative of envelope, and (f) is the second derivative of envelope.

이므로 순간 위상을 대입하면

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

$$\omega(t) = \frac{f(t) \frac{dg(t)}{dt} - g(t) \frac{df(t)}{dt}}{f^2(t) + g^2(t)} \quad (6)$$

되어 순간 주파수를 계산할 수 있다. 순간 주파수는 순간위상 단면도처럼 시간영역에서 한 점에 대한 순간 주파수를 나타낸다. 대부분 반사파들은 음향계수가 일정한 얇은 반사층에서 각각의 반사파들의 합성으로 구성되고 각각의 반사파들의 중첩은 복합 반사파 특성을 나타내는 주파수 형태를 만들어 낸다. 복합 반사파의 특성은 지층의 연속성이 점차적으로 변하는 것처럼 암층이나 층 두께에 따라 점차적으로 변한다. 핀치아웃, 탄화수소-물 경계면 같은 곳에서 순간 주파수는 급격하게 변한다. 가스샌드나 컨덴세이트, 저류층 하부 반사층에서는 고주

파수에서 저주파수로 이동하는 저주파수 압영대 현상이 나타난다.

가중 평균주파수는 저 주파수 및 고 주파수 영역을 필터링한 가중치 함수로 순간 진폭을 이용하여 완만하게 한 것으로 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{\omega}(t) = \frac{\sum_T A(t) \text{freq}(t)}{\sum_T A(t)} \quad (7)$$

여기서 T 는 시간축 윈도우 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.

현장 자료 분석

위에서 본 바와 같이 순간 특성값들은 중합 단면도로부터 진폭과 주시에 대한 정보뿐 아니라 탄성과 반사자료에서 지하

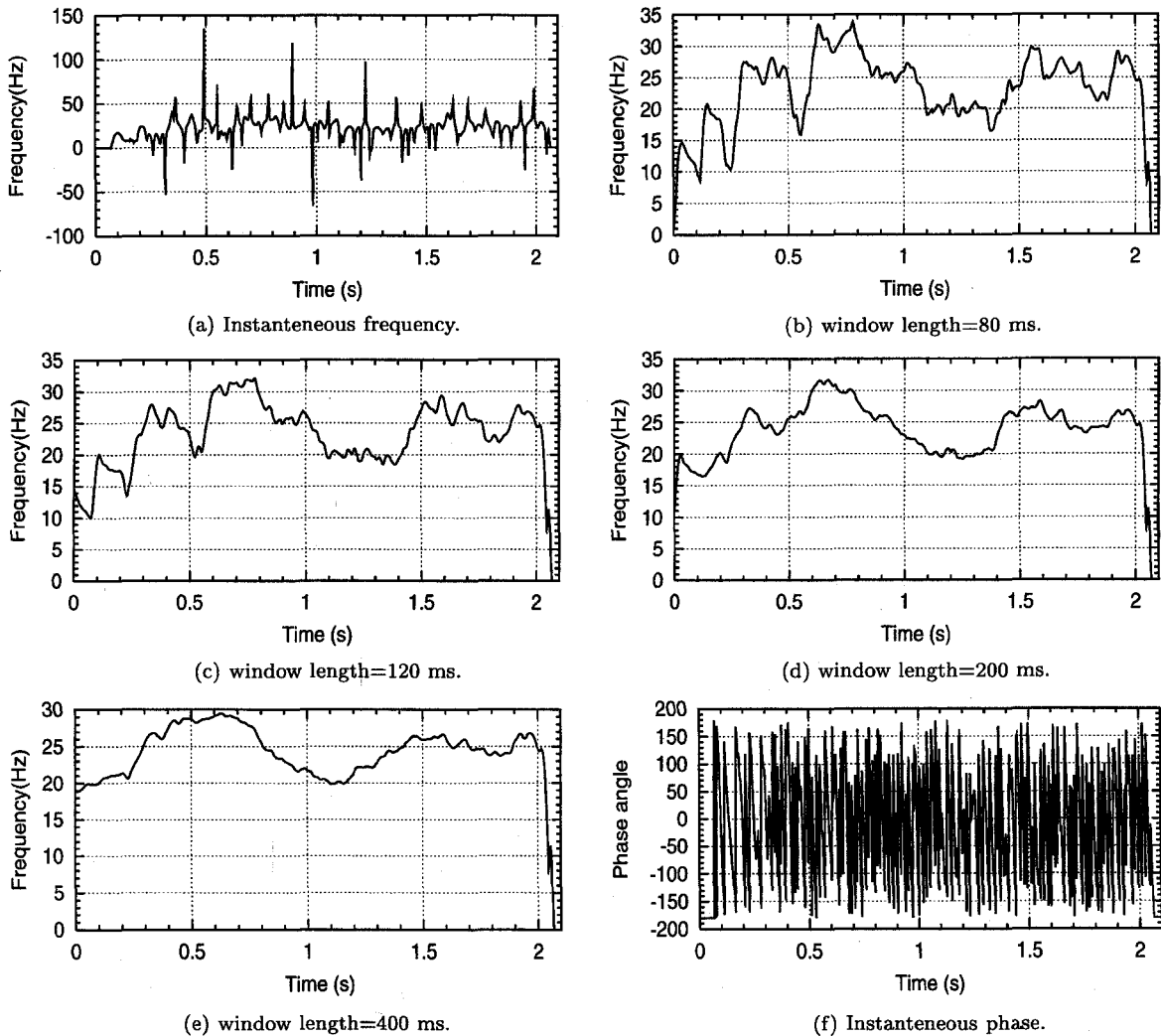


Fig. 6. Results of the instantaneous frequency, its weighted average and the instantaneous phase. (a) is the instantaneous frequency, (b)-(e) are the weighted average, and (f) is the instantaneous phase.

지질구조의 물성을 파악하는데 중요한 역할을 하므로 관심대상 지역의 중합 단면도에 대한 트레이스 복소분석을 통해 순간 진폭, 순간 진폭에 대한 1차 및 2차 미분, 순간 위상, 순간 주파수, 가중평균 순간 주파수를 분석하였다.

복소 트레이스 분석을 실시하기 위해 선택한 트레이스는 시추결과 가스징후를 보였던 Fig. 4의 CDP 2160(시추지점) 트레이스에 대하여 복소분석에 실시하였다(Fig. 5). Fig. 5(a)는 CDP 2160에서의 트레이스로 왕복주시 1.2초 부근에서 진폭변화가 일어남을 알 수 있다. 이에 대한 힐버트 변환은 Fig. 5(b)이고 진폭 스펙트럼은 (c)이다. 반사진폭을 나타내는 봉투함수

는 (d)로 여기에서도 왕복주시 1.2초 부근에서 진폭변화가 있음을 알 수 있는데 그림에서 보듯이 반사 진폭단면도는 중합 단면도는 (a)와 비교해 보면 최대 진폭을 나타내는 위치가 다르게 나타남을 알 수 있다. (e)는 순간 진폭의 1차 미분 값으로 순간 진폭의 시간 변화율을 나타내는 것으로 1.2초 부근에서 진폭강도가 커졌음을 보여준다. (f)는 순간 진폭의 2차 미분 값으로 순간 진폭의 최대값을 나타내어 반사 경계면을 선명하게 나타남을 보여준다.

Fig. 6(a)는 Fig. 4의 CDP 2160에 대한 순간 주파수 단면도이다. 그림에서 보듯이 몇 군데에서 음의 순간 주파수를 보여

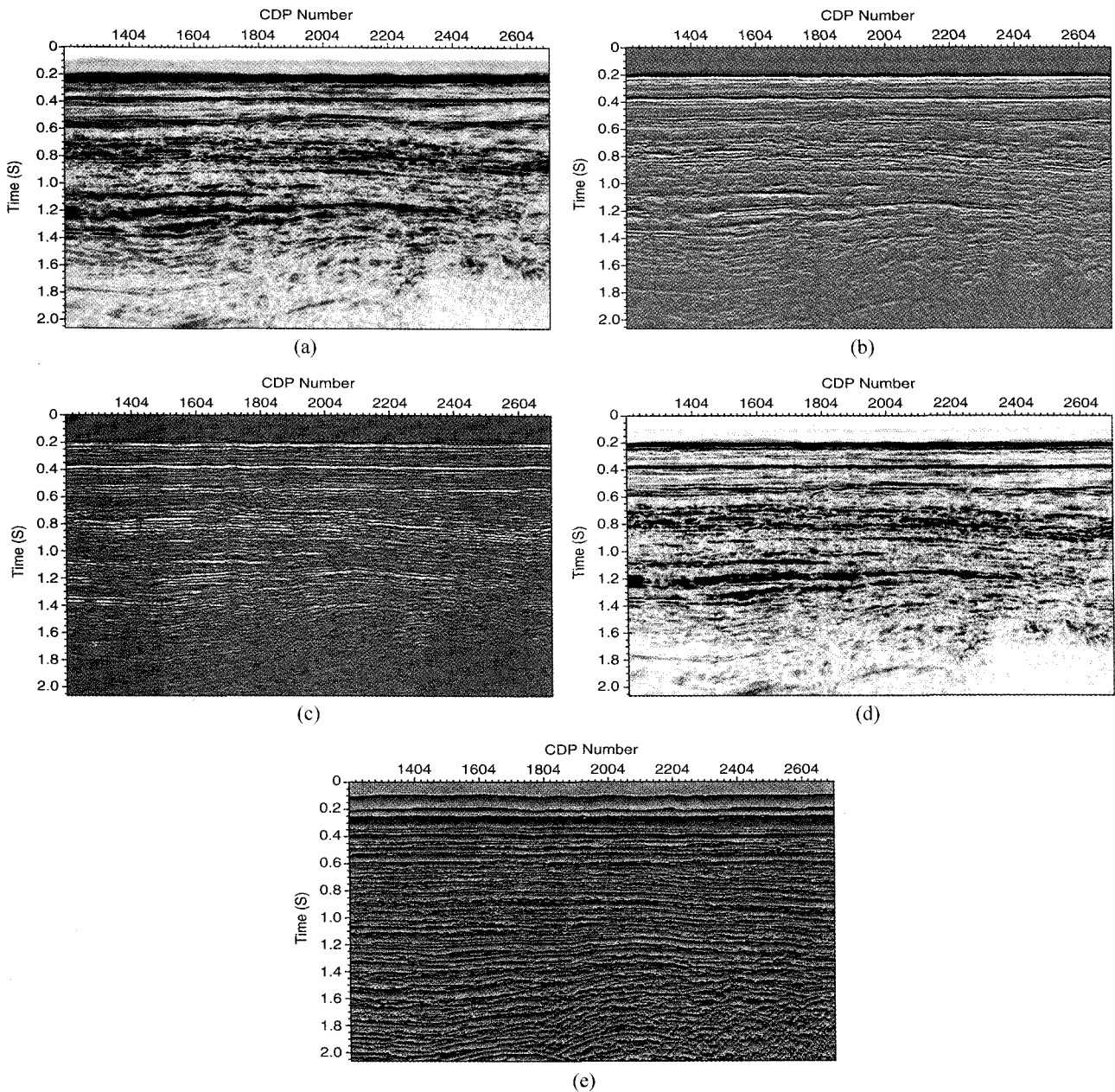


Fig. 7. The results of the complex analysis for Fig. 4. (a) is the reflection strength, (b) is the first derivative of (a), (c) is the second derivative of (a), (d) is the instantaneous frequency, and (e) is the instantaneous phase.

주고 있다. 음의 순간 주파수 값은 물리적인 의미를 갖지 못하지만 이는 얇은 박층이 존재하여 탄성과 단면도상에서 보면 파형에 중첩됨을 의미한다(Robertson and Nogami, 1984).

따라서 1.2초 부근에 음의 순간 주파수 값을 보여주는 것은 얇은 가스층이 존재할 가능성을 의미하기도 한다.

Fig. 6(b)-(e)는 가중평균 순간 주파수 단면도를 시간원도에 따라 나타낸 것이다. 시간원도가 길어질수록 고주파 및 저주파 부분이 필터링된 모습을 보여주며 전체적인 주파수 대역 정보를 알 수 있으며, 역시 1.2초 부근에서 저주파 대역을 보여 줄 수 있다.

Fig. 6(f)는 순간위상 단면도로 1.2 ms 부근에서 위상변화가 높은 곳에서 작은 곳으로 변화함을 보여주고 있다. 순간 위상 값은 반사강도와 무관하게 모든 신호를 위상각으로만 표시하므로 반사신호를 명확하게 만들 수 있어 반사 경계면의 연속성을 잘 나타내준다. 여기에서는 하나의 트레이스 경우를 나타낸 것이지만 중합단면도에 대한 대한 순간 위상 값을 계산하면 연속성을 확인할 수 있다.

위와 같은 방법을 Fig. 4의 중합 단면도에 적용하여 반사강도, 순간 주파수, 순간위상 변화를 나타낼 수 있는 탄성과 특수 단면도를 제작하여 가스층 존재유무를 분석하였다(Fig. 7). Fig. 7(a)는 Fig. 4의 시추위치인 CDP 2160, 왕복주시 약 1.2 초 부근에서의 반사강도를 나타내는 단면도로 이 위치에서 진폭이 매우 강하게 나타남을 알 수 있다. Fig. 7(b)는 반사 강도에 대한 1차 미분을 적용한 단면도로 CDP 1504 왕복주시 0.75초, CDP 2160 왕복주시 1.2초, CDP 2304 왕복주시 1.2초 등 몇 군데에서 진폭 변화를 보여준다. Fig. 7(c)는 반사 강도에 대한 2차 미분을 적용한 단면도로 1차 미분 단면도와 비슷한 지점에서 진폭변화와 상하 지층 간의 간격을 조밀하게 나타남을 보여준다.

Fig. 7(d)는 CDP 2160 이외 몇 군데 지점에서의 순간 주파수 단면도로 순간 주파수 변화율이 고주파수에서 저주파수로

바뀔을 보여준다. Fig. 7(e)는 순간 위상 단면도로 관심지역에 대한 위상 변화를 나타내며 지층경계면의 연속성을 보여준다. 위에서 보듯이 탄성과 특수 단면도는 개략적인 물성에 대한 정보를 제공함을 알 수 있다.

DHI 단면도 분석

탄성과 중합 단면도상에서 강한 진폭특성(명점)을 나타내는 부분은 일반적으로 탄화수소 특히 천연가스가 집적된 곳으로 추정한다. 그러나 명점은 가스층이외 음향계수 차이가 큰 석탄층이나 속도가 높고 단단한 층에서도 나타나기 때문에 명점으로만 식별하기가 어렵다(Allen and Peddy, 1993). 따라서 명점이 천연가스에 기인한 것인지의 여부를 규명하는 방법으로 음원-수진기 거리에 따른 반사진폭 변화를 분석하는 방법이 주로 이용된다(Ostrander, 1984). 탄성과 자료처리 틀인 Geobit 은 음원-수진기 거리에 따른 진폭변화를 중합 단면도와 동시에 표현할 수 있는 탄화수소 직접지시 모듈을 가지고 있어 가스부존 지역을 분석하는데 이용된다. DHI는 입사각의 제곱에 따른 진폭변화를 나타내는 곡선에서 절편, 기울기, 중합 단면도에서의 진폭 그리고 상관도 등 4개의 매개변수의 곱으로 표현된다(서상용, 2000). DHI 단면도는 정밀 속도분석이 끝난 후 결정된 NMO 중합속도와 NMO 보정된 CDP 모음자료를 입력자료로 이용한다. Fig. 8은 Fig. 4에 대한 DHI 단면도이다. 그림에서 보듯이 CDP 2160, 왕복주시 1100 ms와 1500 ms 부근에서 다른 지역보다 진폭이 크게 나타남을 보여준다.

이상에서와 같이 본 연구에서는 탄성과 반사자료로부터 천연가스 부존여부를 추정하기 위해 일반적인 자료처리의 반복적 속도 스펙트럼에 의한 정밀 속도분석, 순간 진폭, 순간 진폭에 대한 1차 및 2차 미분 값, 순간 위상, 순간 주파수, 가중평균 순간 주파수 등 탄성과 복소 분석 그리고 AVO 분석에 의한 DHI 제작을 실시하였으며 연구대상자료는 시추결과 가스징후가 나타난 지역과 어느정도 일치를 이루고 있음을 보여

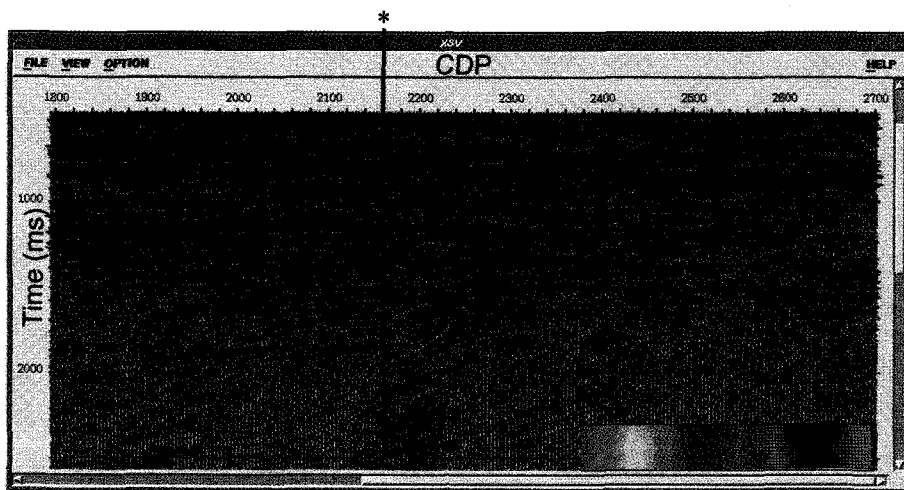


Fig. 8. DHI section for Fig. 4.

주었다.

결 론

탄성과 중합 단면도 상에서 천연가스 부존 여부를 추정할 수 있는 자료처리 기술을 개발하고 이를 과거에 시추가 이루어졌던 지점을 통과하는 탄성과 자료에 대하여 적용해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 국내 대륙붕 탄성과 탐사자료에서 천연가스 부존 탐지를 위해 탄성과 일반 자료처리와 정밀 속도분석과 순간 진폭, 순간 진폭에 대한 1차 및 2차 미분 값, 순간 위상, 순간 주파수, 가중평균 순간 주파수 등 복소 트레이스 분석 그리고 AVO 특성에 의한 DHI 단면도 제작 기술을 개발하였다.

2. 연구대상 자료에 대한 정밀자료 처리 결과, 구간속도 분석과 복소트레이스 분석 그리고 음원-수진기 거리에 따른 진폭의 변화를 분석하는 AVO 결과인 DHI 단면도와 시추결과 어느정도 일치하여 나타났다.

3. 가스가 부존할 가능성이 높은 지역에서는 순간 진폭, 순간 주파수 단면도 그리고 AVO 분석에 의한 DHI 단면도에서 공통적으로 탄성과 진폭이상이 나타나며 정밀 자료처리 결과 중 어느 한 곳이라도 진폭이상이 나타나지 않으면 가스 부존 가능성이 낮다고 할 수 있다.

4. 정밀 자료처리 기법이 절대적이라고는 할 수 없지만 진폭 분석을 한 후에 진폭이상이 나타나지 않은 곳에 시추를 하는 것은 확률적으로 많은 위험이 따르며 탄성과 정밀 자료처리 분석은 석유탐사에 있어서 실패에 대한 위험도를 줄일 수 있는 중요한 수단이 될 수 있다.

참고문헌

서상용, 2000, Geobit 2.10.1 - the Seismic Data Processing Tool.
 서상용, 정부홍, 장성형, 1999, 반복적 대화식 통합 탄성과 속도 분석, 물리탐사, 제 2 권, 제 2 호, 26-32.
 양동우, 양승진, 1996, AVO 및 복소분석에 의한 천연가스 저류층 탐지에 관한 연구, 한국자원공학회지, 제 33 권, 제 5 호,

340-348.
 Allen, J. L., and Peddy, C. P., 1993, Amplitude variation with offset: Gulf coast case studies, SEG.
 Bracewell, R. N., 1965, The Fourier transform and its applications, New York, McGraw-Hill Book Co., Inc., 268-271.
 Domenico, S. N., 1976, Effect of brine-gas mixture on velocity in an unconsolidated sand reservoir, *Geophysics*, **41**, 882-894.
 Koefoed, O., 1956, On the effect of poisson's ratio of rock strata on the reflection coefficients of plane waves, *Geophys. Prosp.*, **4**, 381-387.
 Farnbach, J. S., 1975, The complex envelope in seismic signal analysis, *BSSA*, **65**, 951-962.
 Gregory, A. R., 1976, Fluid saturation effects on dynamic elastic properties of sedimentary rocks, *Geophysics*, **41**, 895-921.
 Ostrander, W. J., 1984, Plane wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence, *Geophysics*, **49**, 1637-1648.
 Payton, C. E., Ed., 1977, Seismic stratigraphy-application to hydrocarbon exploration: AAPG Memoir 26, Tulsa, Am. Assn. Petr. Geologists.
 Robertson, J. D., and Nogami, H. H., 1984, Complex seismic trace analysis of thin beds, *Geophysics*, **49**, 344-352.
 Sicking, C. J., 1978, Modeling with the complex trace: Presented at the 48th Annual International SEG Meeting, November 1, in San Francisco.
 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.
 Turner, M. T., Koehler, F., and Sheriff, R. E., 1979, Complex seismic trace analysis, *Geophysics*, **44**, 1041-1063.
 Turner, M. T., 1992, Attributes revisited, technical papers in Rock Solid Images.
 Mesko, A., DSc, 1986, Digital Filtering: Applications in Geophysical Exploration for oil, Pitman Advanced Publishing Program, 66-74.
 White, R. E., 1991, Properties of instantaneous seismic attributes, *The Leading Edge*, V. 10, No. 7, 26-32.