

GOCAD를 이용한 저류층 속성정보의 3차원 시각화 연구

곽상환¹⁾ · 이두성²⁾

3-D Visualization of Reservoir Characteristics through GOCAD

Sang-Hwan Gwak¹⁾ and Doo Sung Lee²⁾

요 약 : 미국 텍사스 북부 분스빌 천연가스전에서 취득한 3차원 탄성과 자료로부터 4개의 탄성과 반사면과, 탄성과 event 들의 coherence를 도출하여 38개의 검층 자료와 3차원으로 통합 시각화하였다. 시간면은 반사면을 따라 시간을 취득해서 얻었으며, 반사면 상에서의 속도는 탄성과 자료와 해석된 38개 검층 자료로부터 산출하였다. 38개 지점의 속도로부터 속도면을 내삽하고 속도면을 이용하여 시간면에서 깊이면으로 변환하였다. Coherence는 탄성과 자료로부터 semblance 방법을 통하여 도출하였으며 입방체로 만든 후 역시 속도면을 이용하여 깊이면으로 변환하였다. 3차원 통합시각화를 통하여 관찰할 때, coherence의 공간적 분포 양상이 잘 파악되었으며, 시간단면등 종래의 3차원 탄성과 분석법과 비교할 때 3차원 시각화 도면에서 선형의 층서적 양상이 더욱 정확함을 알 수 있었다.

주요어 : 3차원 시각화, 3차원 탄성과 자료, coherence, 검층 자료, 자료통합

Abstract : Four seismic reflection horizons in 3-D seismic data, coherence derived from the seismic data, and 38 well logs from the Boonsville Gas Filed in Texas were tried to be integrated and visualized in 3 dimensions. Time surface was constructed from pick times of the reflection horizons. Average velocities to each horizon at 38 well locations were calculated based on depth markers from the well logs and time picks from the 3-D seismic data. The time surface was transformed to depth surface through velocity interpolation. Coherence was calculated on the 3-D seismic data by semblance method. Spatial distribution of the coherence is captured easily in 3-D visualization. Comparing to a time-slice of seismic data, distinctive stratigraphic features could be correctly recognized on the 3-D visualization.

Keywords : 3-D visualization, 3-D seismic data, coherence, well log, data integration

서 론

탄성과 자료로부터 불연속면을 쉽게 파악하고 이를 시각화 하기 위한 연구들이 진행되었다. Bahorich and Farmer(1995)는 탄성과 자료로부터 coherence 입방체를 도출하고 탄성과 자료 시간단면에서는 식별하기가 힘든 단층(fault)과 하상(channel)을 찾아냈으며, Marfurt *et al.*(1998)은 유사성(semblance) 방법을 이용한 coherence 입방체 산출 방법을 기술함으로써 불연속면을 찾는 기반을 만들었다.

지준 등(2000)은 Marfurt *et al.*(1998)의 방법을 이용하여 탄성과 자료로부터 coherence 입방체를 산출하고 3차원으로 시각화하는 모듈을 개발하였다. 그리고 이 모듈을 미국 텍사스 북부 중앙의 Fort Worth 분지내의 분스빌(Boonsville) 천연가스전에서 취득한 탄성과 자료에 적용하였다. 본 연구의 목적은 GOCAD를 이용하여 산출된 coherence 입방체와 탄성과 반사

면들, 검층 자료들을 통합 시각화하는 것이다. 이들을 하나의 화면에 3차원 통합 시각화하면 해석자가 짧은 시간에 저류층 특성을 종합적으로 평가하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

COHERENCE 입방체

산출한 coherence 입방체를 3차원으로 시각화할 때의 문제 점은 어떻게 불연속면만을 추출하여 잘 보이도록 할 것인가 하는 것이다. Bahorich and Farmer(1995)는 coherence 값들 중 단층과 같은 불연속면을 나타내는 낮은 값들만 보이게 하고, 높은 값들은 투명도를 조절해서 안 보이는 방법을 이용한다. 분스빌 탄성과 자료의 coherence 입방체 시각화에 그들과 비슷한 기법을 시도해 보았다. Coherence가 0.3보다 낮은 값들만을 추출하여 시각화하고 수직의 시간축에 명도를 달리해서 입체감을 표현했다(Fig. 1). 따라서 대나무의 마디와 같이 보이는

*2001년 4월 30일 접수

1) 한성대학교 영상화기술연구실 (Imaging Technology Research Laboratory, Hansung University)

2) 한성대학교 정보시스템공학 (Information System Engineering, Hansung University)

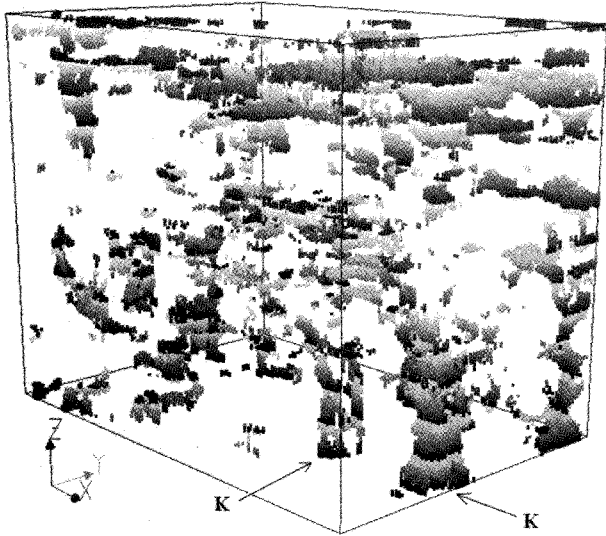


Fig. 1. 3-D distribution of low coherence value (<0.3). Marked "K" indicates a "karst-generated depression."

시간축의 마디는 어떠한 정보가 있는 것이 아니라 시각적으로 다른 덩어리와 차별되어 보이게 하고, 시간적으로는 마디를 수평으로 개략적 대비를 할 수 있게 한다. 이 coherence 입방체는 X축과 Y축이 각각 약 4 km와 3 km, 시간인 Y축이 0.8초에서 1.1초를 나타낸다. 그림 1의 coherence 입방체를 살펴보면 0.3 보다 낮은 부분 즉, 불연속 덩어리의 공간적 분포가 한 눈에 잘 파악이 된다. 그림의 위쪽에는 불연속 덩어리들이 구름처럼 분포하고 오른 쪽 밑으로는 수직 연장성이 좋은 부분 ("K" 표시)들이 보인다. "K"로 표시한 뚜렷한 수직기둥 모양을 이루는 것들은 하부의 카르스트 함몰로 인하여 생성된 침하 부분을 나타낸다(Hardage, 1996). 상부에 수평적으로 다소 연속성이 있는 구간들이 보이는데 이들은 지층면과 평행을 이루며, 지층내의 어떤 불연속적 정보를 제공한다고 생각된다. 이와 같이 0.3보다 낮은 coherence 분포를 종합적으로 판단하면, Bahorich and Farmer(1995)가 단층으로 인식한 수직 내지는 경사진 불연속 단면은 없다고 봐야 한다. 입방체의 가로축과 세로축의 길이를 감안하면 더욱 작은 규모의 단층들은 여전히 찾아야할 과제로 남아있다.

3차원 통합 시각화

검층 자료와 반사면 통합 시각화

분스빌 탄성과 자료를 이용하여 깊이 단위인 검층자료와, 시간 단위인 반사면의 통합 시각화는 이미 시도한 바 있다 (Gwak and Lee, 2000). 두 자료의 단위가 다르므로 반사면 시간 단위를 깊이 단위로 변환하였다. 분스빌 탄성과 자료로부터 주된 4개의 반사면에 해당하는 점 집합을 GOCAD 상에서 3차원 면으로 바꾼 다음, 깊이에 대응되는 '시간면(time surface)'을 실제의 깊이로 일치시키기 위해 시간에 속도를 곱하

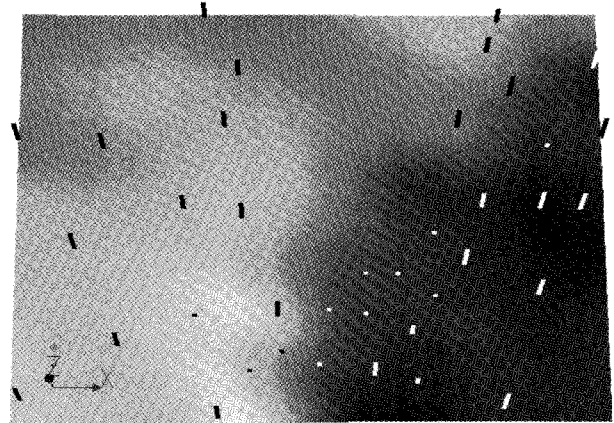


Fig. 2. Well locations and an interpolated velocity surface based on depth information from well log data and time information from seismic data. Velocity is represented in black (low) to white (high). This surface is the shallowest of the 4 dominant reflection horizons.

였다. 속도를 알기 위해서는 해석된 검층 자료에서 각 반사면의 깊이를 이용하였다. 38개의 검층 자료는 각 반사면에 해당하는 깊이 측정 자료를 포함하고 있으며, 탄성과 자료는 그 지점의 시간을 나타내므로 이로부터 하나의 반사면에 38개 지점의 속도를 알 수 있다. 38개 지점의 속도를 반사면 전체에 내삽(interpolation)하여 '속도면(velocity surface)'을 만들었다 (Fig. 2). 그림 2는 4개의 반사면 중에서 최상부 면이며, 38개의 검층 자료 위치를 함께 표현하였다. 내삽하여 얻은 속도면과 시간면을 곱해서 '깊이면'을 구하고 같은 방법을 다른 3개의 반사면에도 적용하여 4개의 깊이면과 검층 자료를 3차원

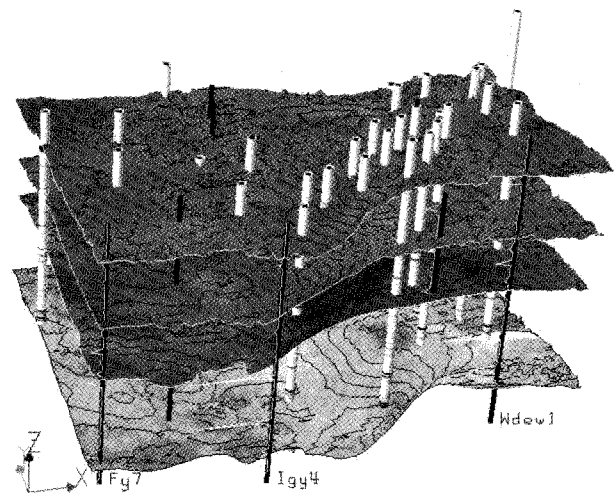


Fig. 3. 3-D visualization of integrated 4 horizons and 38 well log data. Vertical thick black line indicates well path. Property of well is represented in cylinder type or wave type. A ring on the cylinder represents Deep-Induction Resistivity in black and white (high to low value). Three front wells show property in white wave type. Depth for each horizon is exaggerated 6 times vertically and marked with 10 m contour. Seismic amplitude of each horizon is displayed from black to white (low to high value).

통합 시각화하였다(Fig. 3).

하나의 시추공은 적게는 2개, 많게는 12개의 검층 자료들을 포함하고 있다. 이들의 값을 시각화하기 위해 두 가지의 방법을 사용했는데, 하나는 일반적인 파형(wave type)이고, 다른 하나는 원통형(cylinder type)이다. 단노말 전기비저항검층(Short-normal Resistivity log)은 검은색 시추정 옆에 흰색 파형으로 나타냈으며, 장거리 전자유도검층(Deep-induction Resistivity log)은 원통 위에 흰색(낮은 값)에서 검은색(높은 값)까지의 마디 모양으로 표현하였다(Fig. 3).

Coherence, 검층 자료와 반사면 통합 시각화

그림 1의 coherence 입방체는 수직이 시간 축인데 이를 검층 자료나 반사면의 깊이 축으로 변환하기 위해 역시 속도면을 곱하였다. 4개의 다른 속도면들 중에서 편의상 최상부 층의 속도를 곱했다. 따라서 coherence 값이 가리키는 점의 위치가 수평으로는 정확하나 수직으로 깊어질 수록 오차가 생길 수 있다. 최하부층에서 측정된 오차는 약 10 미터이다. 그럼에도 불구하고 위의 방법은 4개의 지층면과 검층 자료와의 통합 시각화에서 0.3 보다 낮은 coherence 분포를 잘 보여준다(Fig. 4). 층과 층 사이 coherence 분포를 잘 보여주기 위해서 수직 깊이를 8배 과장하였으며 검층 자료의 값들은 파형으로만 표현하였다.

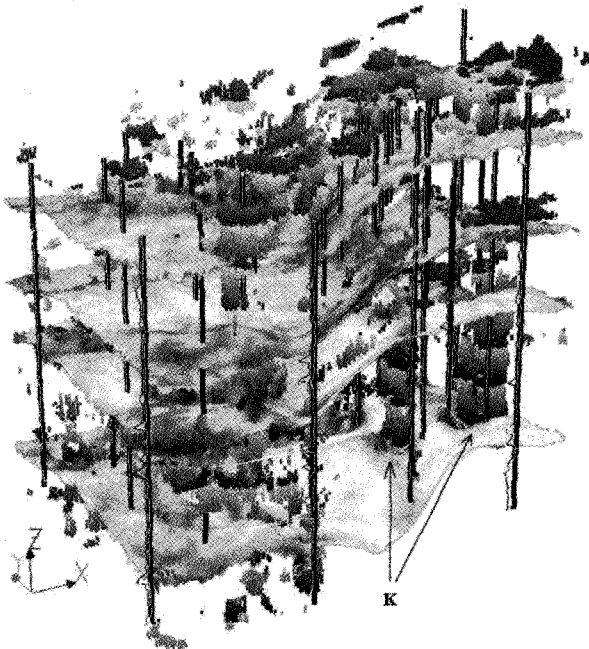


Fig. 4. Integrated 3-D visualization of coherence cube (value<0.3), 38 well logs, and 4 horizons. Coherence values on each surface are represented from black (low) to white (high). Contrasting with Fig. 1, coherence cube bent along surfaces. Well log data are displayed in wave form next to well path. Mark "K" indicates karst feature in Fig. 1. Vertical axis is exaggerated 8 times.

표현방법에 따른 coherence 분포 비교

각 지층면 위에 coherence 값을 0부터 1까지로 나타내었으며 낮은 값, 검은 색에서부터 높은 값, 흰색으로 표현하였다(Fig. 4). 지층 면들 사이의 공간에서 0.3 보다 낮은 coherence 분포는 역시 편의로 명도 마디를 넣었으나 그림 1과 달리 이번엔 깊이를 나타낸다. 따라서 어떠한 명암으로 표현이 되었던 0.3 보다 낮은 coherence의 공간적 분포를 나타내므로, 그것이

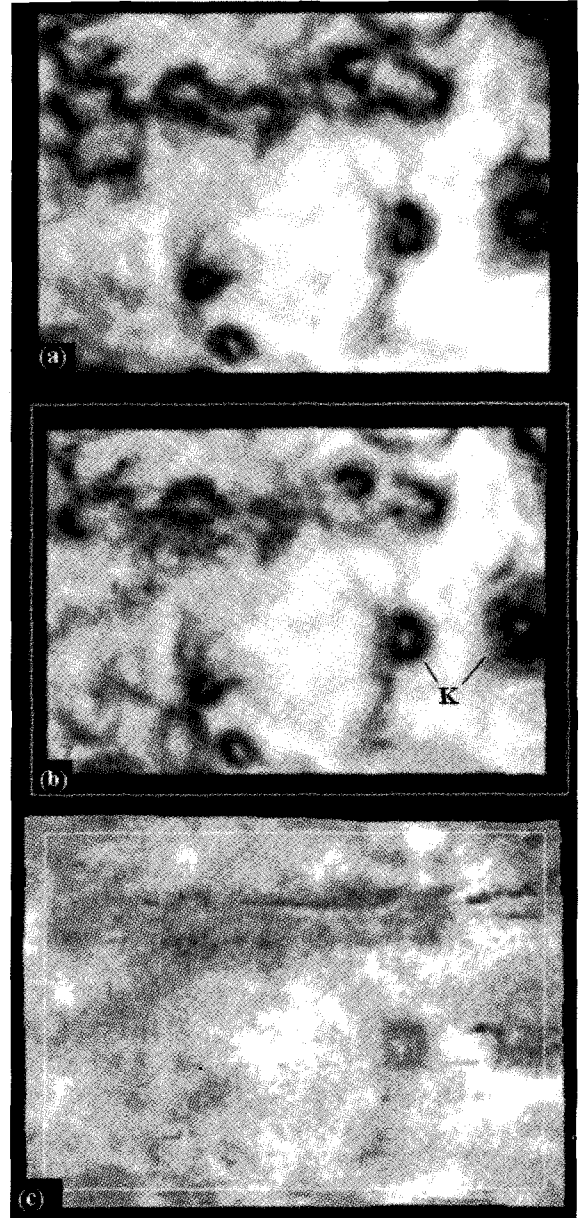


Fig. 5. The distribution of low coherence (<0.3) on the time slice (a) and the stratigraphic surface (b) of bottom surface. Upper part of (a) and (b) showed different curvature. Marked "K" on (b) indicates same depression region in Figures 1 and 4. The distribution of low coherence (b) is displayed more clearly than that of seismic amplitude (c) on same stratigraphic surface.

지층면과 닿는 부분에서는 지층면의 낮은 coherence를 나타내는 검은색 부분과 자연적으로 일치한다. 그림 4의 최하부층 오른쪽, “K”로 표시된 부분에서 이를 확인할 수 있다. 이는 지층면과 coherence 입방체의 통합시각화가 제대로 된 것을 시사한다고 할 수 있다.

시간단면에서의 coherence 분포(Fig. 5a)와 지층면의 coherence 분포(Fig. 5b)를 비교해 보면, 그림의 상부에서 많은 차이가 나는 것을 알 수 있다. 시간단면에서 보이는 곡선형 퇴적구조가(Fig. 5a) 지층면 위에서 보면 연결성이 저하된 것을 볼 수 있다(Fig. 5b). 그러므로 2차원 시간단면 위에서 해석하는 것이 3차원 지층면 위에서 하는 것 보다 부정확하다고 볼 수 있다.

동일한 지층면 위에서 coherence 분포와 탄성과 신호의 진폭 분포를 비교해 보면, 낮은 coherence 부분과 낮은 진폭 부분이 일치하는 양상을 한 눈에 파악할 수 있으며 coherence 분포가 더욱 명확한 것을 알 수 있다(Fig. 5b, c). 여기서 지층면은 그림 4의 최하부 층을 예로 나타낸 것이다.

토 의

Coherence 입방체의 3차원 시각화는 해석자가 탄성과 자료의 불연속면이 공간 어디에 어떻게 분포하는 지를 한눈에 알아볼 수 있게 하여 지질구조 양상과 퇴적구조 정보를 짧은 시간에 얻어낼 수 있도록 도와준다. 3차원 시각화를 통한 해석은 종래의 시간단면 등을 이용한 3차원 자료 해석보다 입체적인 해석을 통해 정확도를 높여준다. 또한 3차원 자료 통합 시각화를 통하여 해석자가 검층 자료, 지층면의 탄성과 자료와 coherence 자료를 쉽게 비교할 수 있도록 한다. 이와 같이 3차원 통합시각화의 목적은 해석자가 여러 가지 물리탐사 자료를 하나의 화면에서 분석하여 빠른 시간내에 정확한 평가를 할

수 있도록 한다.

통합적으로 표현한 검층 자료와 지층면의 탄성과 자료, coherence 값들의 상관관계는 아직 더 많은 연구가 필요하다고 본다. 하성퇴적상(channel facies) 형태를 인식하는 데 있어서 coherence 값을 이용하는 것이 탄성과의 진폭을 이용하는 것보다 더욱 유용하다는 것은 이미 Bahorich와 Farmer(1995)가 지적한 바 있으나 그림 5b의 퇴적구조가 하성퇴적상을 나타내는 것인지 알기 위해서는 분스빌 지역의 지질학적 자료와 비교 검토하는 연구가 필요하다고 생각한다.

사 사

이 연구는 국가지정연구실사업(NRL)과제 탄성과 영상화 기술 연구개발 및 응용의 일부로 수행되었다. 한국과학기술평가원(KISGEP)의 재정지원에 감사한다.

참고문헌

- 지준, 이두성, 김세하, 2000, 탄성과 자료를 이용한 저류층 특성화 연구: 한국석유공사 보고서.
- Bahorich, M. and Farmer, S., 1995, 3-D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features: The coherence cube: *The Leading Edge*, **14**, 1053-1058.
- Gwak, S. H. and Lee, D. S., 2000, Visualization of subsurface information: *An interpretation tool: Geosystem Engineering*, **3**, 85-89.
- Hardage, B. A., 1996, Boonsville 3-D data set: *The Leading Edge*, **15**, 835-837.
- Marfurt, K., Kirlin, R., Farmer, S., and Bahorich, M., 1998, 3-D seismic attributes using a semblance based coherency algorithm: *Geophysics*, **63**, 1150-1165.