

유/가스 저류층 매장량 평가 및 분석 모듈 개발

장민철 · 최종근¹⁾ · 김세준²⁾

1. 서 론

매장량이란, Society of Petroleum Engineers(SPE)의 정의를 따르면, 현재시간이후로 주어진 경제적 조건과 정부의 규제 하에서 확립된 개발기술을 통하여 상업적으로 생산이 가능한 석유, 컨덴세이트(condensate), 천연가스, 천연가스액체(natural gas liquids)와 그 수반물질의 양이다. 탄화수소를 함유하고 있는 저류층의 평가를 위해서 공극률, 저류층 두께, 포화도 같은 물성치를 파악해야 하지만, 석유 개발사업의 초기단계에는 원하는 만큼 충분한 자료를 얻기에는 경제적, 기술적 한계가 있다. 따라서 적은 자료를 바탕으로 우리가 알지 못하는 지점에서의 저류층 변수 값을 알아내야 하기 때문에, 지구통계학적 기법이 최근 들어 많이 사용되고 있다. 지구통계학적 방법과 추계학적 방법을 사용하면 불확실성을 가진 저류층 변수들의 분포적 특성을 반영할 수 있다.

아직 국내에서는 지구통계학적 모델 및 자료 최적화 기법이 수반된 상용화된 저류층 평가 모델이 개발되지 않았다. 따라서 해당분야의 전문가뿐만 아니라 비전문가도 쉽게 사용할 수 있는 윈도우 기반의 사용자 친화적 프로그램을 개발하는 것이 당면과제이다. 이러한 프로그램은, 저류층의 특성과 정확하고 매장량 평가에 직접 사용될 수 있다. 본 연구에서는 이용 가능한 자료의 양과 종류에 따라 여러 가지 방법을 이용할 수 있는 매장량 평가모델, ReservEst 1.0을 개발하였다. ReservEst 1.0은 용적법을 이용한 매장량 계산 모듈, 저류층 변수의 불확실성을 고려한 추계학적(stochastic) 매장량 평가 모듈, 그리고 지질학적 자료를 이용한 매장량 계산 및 3차원 시각화 모듈로 구성된다.

2. 용적법

시추에 의하여 석유의 부존이 확인되고 검증이나 여러 시험을 통하여 신뢰할 만한 자료를 얻은 후에는 용적법에 의해 저류층에 존재하는 석유의 양을 합하여 매장량을 계산할 수 있다. 원시탄화수소매장량은 다음의 식 (1), (2), (3)으로 표현할 수 있다.

$$N = \frac{7758 V_o \phi R_{NG} (1 - S_w)}{B_o} \text{ stb} \quad (1)$$

$$G_s = \frac{7758 V_o \phi R_{NG} (1 - S_w) R_s}{B_o} \text{ scf} \quad (2)$$

$$G = \frac{1.546 V_g \phi R_{NG} (1 - S_w) p}{zT} \text{ MMscf} \quad (3)$$

여기서, N 은 원시오일매장량, G_s 는 원시용해가스매장량, G 는 원시자유가스매장량, V_o 는 저류층의 체적(acre-ft), ϕ 는 저류층의 공극률, S_w 는 저류층의 물-포화도, B_o 는 저류층의 용적계수(rbbl/stb), R_{NG} 는 net/gross ratio, R_s 는 용해가스오일비(scfl/stb), p 는 저류층 압력(psia), T 는 저류층 온도($^{\circ}$ R), z 는 압축지수 이다. 저류층에서 지하수의 유입(water influx) 혹은, 물 주입(water injection)으로 압력의 보상이 발생할 경우, 유체투과율이 저류층 평균 유체투과율의 1~5% 이하인 지역의 오일은 회

수되지 않을 확률이 높다. 이는 물이 저류층 내 높은 유체투과율을 보이는 지역으로 쉽게 이동하기 때문이다. 따라서, 낮은 유체투과율을 갖는 지역은 물이 오일을 밀어내지 못한 채로 남게된다. 이런 현상을 고려하기 위해 R_{NG} 가 사용되며 $0 < R_{NG} < 1$ 의 값을 갖게된다.

자유가스매장량 계산 시 압축지수 z 계산에는 Dranchuk과 Abou-Kassem에 의해 그 타당성이 입증된 Starling 방법을 사용하였다.

$$Z = 1 + \left(A_1 + \frac{A_2}{T_r} + \frac{A_3}{T_r^2} + \frac{A_4}{T_r^3} + \frac{A_5}{T_r^4} \right) \rho_r + \left(A_6 + \frac{A_7}{T_r} + \frac{A_8}{T_r^2} \right) \rho_r^2 - A_9 \left(\frac{A_7}{T_r} + \frac{A_8}{T_r^2} \right) \rho_r^3 + A_{10} (1 + A_{11} \rho_r^2) \frac{\rho_r^2}{T_r^3} \exp(-A_{11} \rho_r^2) \quad (4)$$

여기서, T_r 은 의사환산온도, ρ_r 은 의사환산밀도, A_1, A_2, \dots, A_{11} 은 Dranchuk과 Abou-Kassem에 제시된 상수값이다.

3. 추계학적 기법

각 변수들에 대한 불확실성이 없는 경우, 용적법을 이용하여 매장량을 계산할 때는 각각의 저류층 변수들이 하나의 값으로 대입된다. 하지만, 실제로 저류층 변수들은 정보의 부족으로 인해 결정론적으로 하나의 값으로 정할 수 없는 경우가 많다. 이러한 경우에, 저류층 변수는 특정한 값이 아니라 확률 분포로 주어지는데 추계학적 방법을 이용하여 매장량을 예측할 수 있다. 추계학적 방법을 사용하면 불확실성의 정도를 정량적으로 파악할 수 있고 또 주관성을 배제할 수 있는 장점이 있다. 현장자료로부터 저류층 변수의 확률분포가 주어지면 누적확률분포를 구한다. 무작위로 난수를 발생시켜, 그 난수에 해당하는 분위수(quantile)를 누적확률분포로부터 구하여 저류층 변수값으로 결정한다. 이러한 방법으로 불확실성을 가진 모든 저류층 변수들을 생성할 수 있으며, 모든 변수들이 생성되면 용적법에 의해 매장량을 계산할 수 있다. 이 과정을 충분히 많은 횟수만큼 반복하면, 각각의 경우마다 무작위성의 영향으로 서로 다른 매장량 값을 얻게 되어, 매장량의 분포를 구할 수 있다. 그림 1은 생성된 저류층 변수들의 분포와 계산된 매장량의 분포를 보여준다.

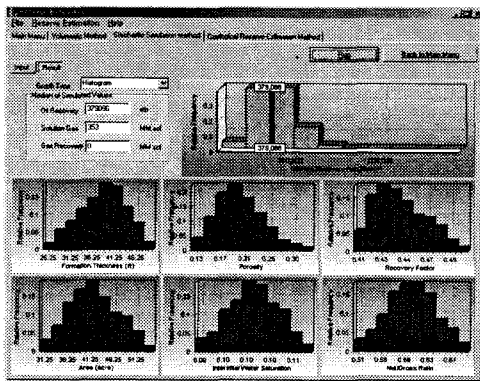


그림 1. 추계학적기법을 이용한 매장량 평가모듈.

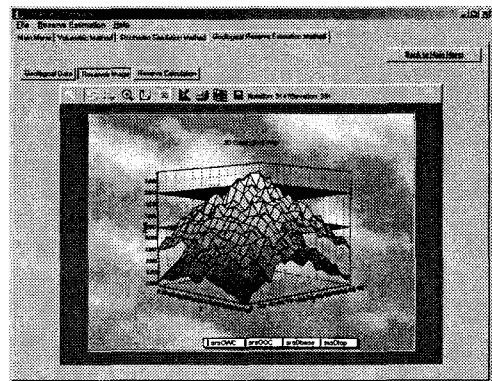


그림 2. 지질학적 자료를 이용한 저류층 3차원 시각화.

4. 지질학적 자료를 이용한 매장량 계산

개발된 모델은 지질학적 정보에 대한 격자단위의 자료가 주어지면, 그림 2와 같이 저류층을 3차원으로 영상화하고, 저류층 총체적을 식 (5)와 같이 수치적분하여 매장량을 계산할 수 있다.

$$V_{bulk} = \int_{x=0}^{x_{max}} \int_{y=0}^{y_{max}} h(x, y) dx dy \quad (5)$$

$h(x, y)$: (x, y) 지점의 저류층 두께, ft

저류층의 크기가 결정되면, 2절에서 제시한 용적법을 이용하여 오일과 가스의 초기 매장량을 계산할 수 있다. 그림 2는 지질학적 정보를 입력받아 저류층 형태를 3차원 이미지로 시각화한 그림이다. 3차원 이미지는 사용자의 요구에 따라 확대, 회전, 이동, 인쇄가 가능하다.

5. 결 론

ReservEst 1.0은 용적법, 추계학적 기법, 지질학적 매장량 계산기법의 서로 다른 3가지 평가기법을 이용한 매장량평가 모델이다. 매장량 평가 시 추계학적 기법의 도입으로 불확실성의 정량화 및 사업의 위험성 분석이 가능하다. 또한, 3차원 그래픽 기법의 도입으로 저류층 형태의 3차원적 시각화가 가능하며, 입체적인 저류층 분석이 가능하다. 사용자 친화적인 윈도우즈 프로그래밍 기법을 활용하여 데이터 입/출력 및 계산이 간편하다. 따라서 이용가능한 자료의 종류에 따라 현장에서의 사용이 용이하다.

주요어: 매장량평가, 추계론적기법, 3차원시각화, 사용자 친화적 프로그램

- 1) 서울대학교 지구환경시스템공학부
- 2) 한국지질자원연구원