폴리머 공법 적용 불균질 저류층에서의 유효 압축률이 오일생산에 미치는 영향 분석

백수현 · 정우동 · 성원모 · 서준우*

한양대학교 자원환경공학과

The Analysis for the Effect of Effective Compressibility on Oil Recovery in Polymer Flooded Heterogeneous Reservoir

Soohyun Baek¹, Woodong Jung¹, Wonmo Sung¹ and Junwoo Seo^{1*}

Department of Natural Resources and Environment Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

The compressibility of fracture in naturally fractured reservoir is larger than the compressibility of matrix in rock, although the compressibility of a typical rock is very small. The effective compressibility including the fracture compressibility should be considered to predict oil recovery correctly. It is hard to quantify changes of fracture aperture and pore volume in reservoir without the effective compressibility. In this study, oil recovery is analyzed by commercial simulator concerning the fracture compressibility based on fracture properties. We found that the effective compressibility affects oil recovery with change of polymer flooding factors such as polymer molar weight, concentration and injection rate. The estimated cumulative oil production is smaller with the effective compressibility than without it. Also, bottomhole pressure decreases rapidly without considering effective fracture compressibility.

Key words : naturally fractured reservoir, heterogeneity, effective compressibility, polymer flooding, EOR

불균질한 자연균열 저류층에서 암체의 압축률은 매우 작은 값을 가지는 반면에 균열의 압축률은 상대적으로 큰 값을 갖는다. 균열의 압축률을 포함한 유효 압축률을 고려하지 않을 경우에는 균열의 간극 변화로 인한 공극 부피의 변화를 반영할 수 없기 때문에 정확한 오일 회수를 예측할 수 없다. 본 연구에서는 기존의 연구들에서 암체의 압축률만을 고려하여 오일 회수를 분석했던 것과 달리, 암체와 균열의 압축률을 모두 고려한 유효 압축률을 적용해서 오일 회수량을 분석하였다. 폴리머 공법에서 균열의 압축률이 폴리머의 주입에 미치는 영향을 이해하기 위해, 폴리머의 분자량, 농도, 주입속도에 따른 오일 회수량을 분석하였다. 유효 압축률을 고려할 경우 폴리머 분자량, 농도, 주입속도가 높아질수록 유효 압축률을 고려하지 않은 경우가 고려한 경우보다 누적 오일 생산량이 높게 나타났다. 또한 공저 압력의 경우에도 유효 압축률을 고려하지 않은 경우가 고려한 경우보다 빠르게 급감하여 오일 생산량에 영향을 주는 것을 확인할 수 있다.

주요어 : 불균질 자연균열 저류층, 불균질성, 유효 압축률, 폴리머 공법, 오일 회수증진 공법

1. 서 론

자연 균열 저류층에서는 균열에 의한 서로 다른 투

과도 분포가 유체의 유동에 영향을 주기 때문에 균열의 특성을 이해하고 있어야 한다(Seo *et al.*, 2009). 본 연구에서는 균열의 주요한 특성을 반영하고, 오일

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided original work is properly cited.

*Corresponding author: jjunu@hanyang.ac.kr

의 생산량 변화를 분석하기 위해 유효 압축률의 개념을 이용하였다. 유효 압축률이란 저류층에 가해지는 압력과 공극압 간의 관계에서 실질적으로 가해지는 압력에 대한 공극체적의 변화를 의미한다. 균열의 압축률은 $10^{-5} \text{ psi}^{-1} \sim 10^{-4} \text{ psi}^{-1}$ 정도에서 최대 10^{-3} psi^{-1} 로 대부분의 시뮬레이션을 통한 연구에서는 암체의 압축률이 매우 작기 때문에 고려하지 않거나, 균열의 압축률이 제외된 암체의 압축률만을 고려한 연구가 진행되었다. 하지만, 균열의 압축률은 상대적으로 크기 때문에 이를 간과할 수 없다(Aguilera, 1999). 일반 저류층에서는 유체 생산으로 인해 공극압이 감소되면서 압축 현상이 발생하여 생산성이 증대된다. 하지만 균열 저류층의 경우에는 압축 현상으로 인해 균열 간극의 축소가 발생하여 오히려 생산성에 부정적인 영향을 미친다(Aguilera, 2006).

자연 균열 저류층에서 균열의 간극 변화는 주입 유체인 폴리머의 유동과 오일 생산 유동에 직접적인 영향을 준다(Muralidharan *et al.*, 2004). 또한, 자연 균열이 발달한 균열 저류층에 폴리머 공법을 적용했을 때는 암석의 불균질성으로 인해 폴리머 공법의 효율이 저해되기도 한다(Emami, 2008). 균열 저류층에서의 폴리머 공법 적용 관련 기존 연구에서는 균열의 간격과 투과도와 같은 균열의 특성에 따른 오일 회수율 분석이 진행되었으며(Sayedakram and Mamora, 2011), 또한 균열 저류층에서 폴리머와 더불어 계면활성제와 알칼리의 주입을 통한 최적 주입 공법에 대한 연구가 주로 수행되어왔다(Lee, 2008; Obuekwe, 2011; Ahmed *et al.*, 2012). 최적 주입 공법에 대한 시나리오 분석 연구는 지속되었지만, 균열 저류층에서의 폴리머 공법 적용할 시 균열 특성의 영향을 감안한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 먼저 균열의 압축률을 도출하기 위해서 균열의 투과도와 균열 간의 간격을 이용하였으며, 이를 고려하였을 때 폴리머의 특성인 폴리머 분자량, 농도, 주입속도에 의해 오일 생산량에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 저류층 모델 설정 및 입력 자료

일반적으로 균열은 암체보다 공극률이 작으며 투과도는 상대적으로 높다. 하지만 저류층의 압력강하나 심도의 증가로 인해 가해지는 압력이 커지면, 균열에서 공극률과 투과도의 변화가 암체보다 더 크게 나타난다(Nelson, 2005). 식 (1) (Kim, 2007)은 균열의 압축률

의 정의를 나타낸 식이다. 균열의 압축률은 압력에 따른 부피의 변화로 정의되며, 이를 간극과 면적의 함수로 나타내면 간극의 함수라고 할 수 있다. 간극을 계산하기 위해 식 (2) (Jones, 1975)와 시뮬레이터에서 간극을 계산하는 식 (3) (Thomas *et al.*, 1983; STARS User Manual, 2012)을 이용하여 균열 간극을 계산하였다. 식 (1)에서의 응력에 따른 변위 항목은 실험 결과를 사용하였다(Kim, 2007). 계산한 간극을 이용하여 균열 압축률을 도출하였다. 도출된 균열의 압축률은 참고문헌에서 측정된 균열의 압축률과 비교했을 때 타당한 값이라고 할 수 있다(Aguilera, 1999). 또한 주입과 생산을 하면서 발생하는 압력 차이로 인해 유효 압축률도 변화하므로 압력에 따른 유효 압축률의 변화를 시뮬레이터에 적용하였다. 저류층 압력에 따른 각각의 균열의 압축률을 계산하여 최대, 최소값을 시뮬레이터에 적용시켜 주입과 생산으로 인해 변하는 저류층 압력변화에 따라 유효 압축률 변화가 반영되도록 하였다.

$$c_f = \frac{1}{V_f} \frac{dV_f}{dP} = \frac{1}{Ah} \frac{A \delta h}{\partial P} = \frac{1}{h} \frac{\delta}{\partial \sigma} \quad (1)$$

$$\phi_f = 4.93 \left(\frac{k_f}{s} \right)^{\frac{1}{3}} \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$h = s \times \left(1 - (1 - \phi_f)^3 \right) \quad (3)$$

c_f 는 균열의 압축률, V_f 는 균열의 부피, A 는 면적, h 는 균열의 간극, P 는 압력, σ 는 응력, δ 는 변위, ϕ_f 는 균열의 공극률, k_f 는 균열의 투과도, s 는 균열의 간격

본 연구에서는 폴리머 공법 적용 시 균열 저류층에서 유효 압축률이 오일 생산에 미치는 영향에 대해 분석하기 위하여 2차원 모델을 설정하였다. 또한 불균질 저류층에서 폴리머 공법을 적용했을 경우 오일 생산에 미치는 영향을 보기 위해, 균열이 발달한 저류층을 모사하는 이원 투과도 모델을 사용하였으며 CMG사의 상용시뮬레이터인 『STARS』를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 사암 저류층 모델의 입력 자료는 Table 1과 같다(Wang *et al.*, 2007). 기본 저류층 모델에서의 폴리머 농도는 1,000 ppm으로 설정하였고, 생산정과 주입정 사이의 거리는 현장에서의 유정 간 거리인 200m로 설정하였다. 균열에서 상대 투과도는 포화율이 0부터 1까지 선형적으로 나타나는 곡선을 사용하였다.

Table 1. Reservoir model parameter

Parameter	Values
Number of grid (X×Y×Z)	400 (20×20×1)
Initial pressure (psia)	1,200
Porosity (fraction)	Matrix 0.22
	Fracture $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-3}$
Permeability (md)	Matrix 1 ~ 100
	Fracture 500 ~ 2,000
Initial oil saturation (fraction)	0.5
Inter porosity flow factor	6×10^{-3}
Polymer concentration (ppm)	300 ~ 1,000
Injection rate (bbl/day)	100 ~ 500
Injection well pressure (psia)	1,200
Production rate (bbl/day)	200 ~ 600
Production well pressure (psia)	600
Effective compressibility (psi ⁻¹)	$1 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-4}$

3. 결과 분석

균열의 압축률의 반영 여부에 따른 오일 회수량을 분석하는데 있어서 균열의 특성에 따라 오일 회수에 미치는 영향이 다르다. 먼저 균열의 특성 중 유체의 유동과 관련이 깊은 균열의 투과도에 따른 오일 회수율을 분석했다. 균열의 투과도가 500 md인 경우에는 초기에 균열 압축률은 3×10^{-4} psi⁻¹이며 균열의 투과도가 2,000 md인 경우에는 2×10^{-4} psi⁻¹의 균열 압축률을 가진다. 초기 균열 저류층의 균열 투과도를 이용하여 균열의 압축률을 도출하였으며, 이에 따른 유체의 유동이 유효 압축률에 의해 받는 영향에 대하여 분석하였다. 결과 그래프에서 x축의 PVINJ는 주입 공극 체적을 나타낸다(Fig. 1). 분석 결과, 유효 압축률을 고려했을 경우가 고려하지 않았을 경우보다 누적 오일 생산량이 더 적게 나타났다. 뿐만 아니라 균열의 투과도가 높을수록, 균열 압축률 고려 유무에 따른 생산량의 차이가 크다. 균열의 투과도가 500 md일 때는 유효 압축률 고려 유무에 따라 누적 오일 생산량이 최대 4% 차이가 보였다면 균열의 투과도가 2000 md일 때는 유효 압축률 고려 유무에 따라 누적 오일 생산량이 4.5%이상의 차이가 났다(Fig. 1). 이는 균열의 투과도가 높을수록 간극의 변화에 의한 영향을 더 많이 받기 때문이다. 균열의 투과도가 높은 경우가 균열을 통한 유체의 유동이 더 많이 발생하므로, 유효 압축률을 고려함에 따른 간극의 변화가 더 크게 나타나 생산량의 차이가 더 크게 나타난다.

Fig. 1. Cumulative oil productions in cases of 500 and 2,000 md in fracture permeability. NOCOMP; no compressibility, COMP; effective compressibility.

또 다른 균열 특성인 균열의 간격은 균열과 균열 간의 거리를 의미하며 이는 균열의 빈도수 즉, 밀도와 관련이 있다. 이원 투과도 저류층 모델에서 균열의 간격이 10 cm일 때와 100 cm일 때의 결과는 Fig. 2와 같다. 균열의 간격이 100 cm인 경우에는 균열 압축률이 초기에 1×10^{-4} psi⁻¹이며 균열의 간격이 10 cm인 경우에는 2.5×10^{-4} psi⁻¹의 균열 압축률을 가진다. 균열의 간격이 100 cm일 때와 10 cm일 때 모두 유효 압축률을 고려하지 않았을 경우가 고려했을 경우보다 더 많은 누적 오일 생산량이 나타난다(Fig. 2). 균열 간격이 10 cm일 때에는 유효 압축률 고려 유무에 따라 누적오일 생산량의 차이가 약 4%가 나며, 균열 간격이 100 cm일 때에는 유효 압축률 고려 유무에 따라 누적오일 생산량의 차이가 0.1%로 나타났다. 균열 간의 간격이 좁을수록 유효 압축률 고려 유무에 따른 누적 오일 생산량의 차이가 크게 나타나며 이는 균열 간의 간격이 좁을수록 같은 부피 안에 존재하는 균열의 빈도수가 높고 간극의 변화에 의한 영향을 상대적으로 더 많이 받기 때문이다.

다음으로는 균열의 특성 이외에 균열의 압축률이 폴리머의 주입에 미치는 영향을 이해하기 위해, 폴리머의 분자량, 농도, 주입속도에 따른 오일 회수량을 분석하였다. 폴리머의 분자량의 단위는 dalton으로 분자량이 높을수록 고분자를 연결하고 있는 체인이 길다. 체인의 길이에 따라 유동 양상이 달라지며 주입 목적에 따라 분자량이 결정된다(Gregory, 1984). 폴리머 공법에서는 5×10^6 에서 3.5×10^7 dalton 정도의 폴리머를 사

Fig. 2. Cumulative oil productions in cases of 100 and 10 cm in fracture spacing.

Fig. 3. Cumulative oil productions in cases of 10 and 35 M dalton in polymer molecular weight.

용한다. 폴리머의 분자량이 클수록 폴리머 수용액의 점성도는 높으며 염도에 의해 분해되는 정도가 다르다. 폴리머의 분자량이 1×10^7 dalton인 경우와 3.5×10^7 dalton인 경우 모두 균열의 압축률은 2×10^{-4} psi⁻¹이다. 또한 두 경우 모두 폴리머의 농도는 1,000 ppm, 주입 속도는 200 bbl/day이다. 폴리머의 분자량이 1×10^7 dalton인 경우에는 유효 압축률의 고려 유무에 따라 누적 오일 생산비가 3% 정도 차이가 있으며, 폴리머의 분자량이 3.5×10^7 dalton인 경우에는 유효 압축률의 고려 유무에 따라 누적 오일 생산량 차이가 약 5% 정도로 분자량이 1×10^7 dalton인 경우보다 높게 나타났다(Fig. 3). 두 경우 모두 유효 압축률을 고려했을 경우가 고려하지 않았을 경우보다 누적 오일 생산량이 더 작다. 이러한 생산성의 결과는 주입유체의 유동 양상에 따른 결과로써, 유효 압축률을 고려하지 않은 경우가 고려한 경우에 비해 빠르게 최대 주입량에 도달하기 때문에 발생하는 현상이다. 또한 폴리머의 분자량이 증가할수록 유효 압축률 반영 여부에 따른 누적 생산량의 차이는 뚜렷하게 나타난다. 이는 폴리머의 분자량이 클수록 균열의 간극 변화에 따라 폴리머 적용 효과가 더 감소되어 생산 유체의 유동에 영향을 주기 때문이다. 유효 압축률을 고려한다는 것은 균열 간극의 변화를 고려하는 것을 의미하며, 주입 유체인 폴리머가 주입될 때 유효 압축률을 고려했을 경우 유동에 영향을 더 많이 받기 때문에 누적 오일 생산량의 차이가 발생한다. 유효 압축률 고려 유무에 따라 공저 압력에서도 차이가 나타난다. 유효 압축률을 고려하지 않았을 경우에는 암석의 팽창이 반영되지 않아 Fig. 4와

Fig. 4. Bottomhole pressure and oil production rate with 35 M dalton of polymer molecular weight.

같이 저류층의 압력이 급격히 떨어져 생산 초기 이후에는 오일의 일일생산량 역시 낮아진다. 생산정 운영 조건은 최소 공저압을 600 psi로 했으며, Fig. 4에서는 유효 압축률 고려 유무에 따라 가장 많은 차이를 보이는 초기 시간대의 공저압을 나타내었다. Fig. 5는 유효 압축률 고려 유무에 따른 오일 포화율의 차이를 보여 준다. Fig. 5는 생산 시작 후 300일 때의 오일 포화율을 나타냈으며 유효 압축률을 반영하지 않았을 경우에 주입정에서부터 생산정으로 오일이 먼저 도달하는 양상을 확인할 수 있다.

폴리머의 경우 일반적으로 250에서 2,000 ppm 정도의 농도로 주입을 한다(Wang, 2007).

Fig. 5. Comparing oil saturations when polymer molecular weight is 35 M dalton.

폴리머의 농도가 높으면 점성도가 높아지기 때문에 저류층의 조건에 따라 농도를 설정해야 한다. 폴리머의 농도별로 유효 압축률을 고려했을 때와 고려하지 않았을 때로 분류하여 분석함으로써 유효 압축률이 생산량에 미치는 영향을 분석하였다. 두 경우 모두 균열의 압축률은 $2 \times 10^{-4} \text{ psi}^{-1}$ 이며 폴리머 분자량은 2.5×10^7 dalton, 주입속도는 200 bbl/day이다. 일반적으로 폴리머의 농도가 증가할수록 누적 오일 생산량은 증가한다. 유효 압축률을 반영했을 때 그렇지 않은 경우보다 오일의 생산량이 더 감소된 결과를 보였다. 폴리머 수용액의 농도가 300 ppm인 경우에는 유효 압축률 반영 여부에 따라 누적오일 생산량의 비율이 2% 차이가 있으며, 농도가 1,000 ppm인 경우에는 4.5%의 누적오일 생산량 차이가 존재했다(Fig. 6). 폴리머 수용액의 농도

가 높을수록 유효 압축률 고려 유무에 따른 누적 오일 생산량의 차이가 증가하였다. 이는 주입유체의 거동이 유효 압축률을 고려한 경우에 최대 주입량에 느리게 도달하여 생산량의 차이를 발생시켰기 때문이다. 균열 저류층에서는 대부분의 유체 유동이 압채보다는 균열을 통해 일어난다. 균열의 압축률을 포함한 유효 압축률을 고려하였을 때 균열의 간극 수축 현상으로 주입과 생산 유체의 유동이 영향을 받게 된다. 폴리머의 농도가 높을수록 균열 간극 수축의 영향으로 폴리머의 효과가 감소되므로 유효 압축률 고려 유무에 따라 생산량의 차이가 크게 나타는 것이다. 공저 압력 또한 유효 압축률을 고려하지 않았을 때에 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있으며(Fig. 7), 오일 일일생산량의 차이도 유효 압축률 고려 유무에 따라 확연하게 다르

Fig. 6. Cumulative oil productions in cases of 300 and 1,000 ppm in polymer concentration.

Fig. 7. Bottomhole pressure and oil production rate with 1,000 ppm of polymer concentration.

Fig. 8. Comparing oil saturations when polymer concentration is 1,000 ppm.

게 나타난다. 오일 포화율을 나타낸 Fig. 8과 같이 유효 압축률을 고려하지 않은 경우 오일이 주입정에서 생산 정으로 더 빠르게 도달하고 있음을 확인할 수 있다.

폴리머의 주입속도는 주입정에서 폴리머의 주입량과 밀접한 관계를 가지고 있다. 폴리머의 주입속도가 100 bbl/day와 500 bbl/day인 경우에는 유효 압축률의 고려 유무에 따라 각각 2%, 4%로 생산량의 차이가 나타났다(Fig. 9). 두 경우 모두 균열의 압축률은 $2 \times 10^{-4} \text{ psi}^{-1}$ 이며, 폴리머 분자량은 2.5×10^7 dalton, 폴리머 농도는 1,000 ppm이다. 유효 압축률을 반영했을 때 누적 오일 생산량이 더 적게 나타났다. 폴리머의 주입속도가 증가할수록 이러한 경향은 더 뚜렷하게 보인다. 이는 주입속도가 커지면 저류층에 가해지는 압력이 증가하고, 유효 압축률 고려유무에 따른 누적 오일 생산량의 차이가 크게 나타나기 때문이다. Fig. 10은 주입속도가 500 bbl/day일 때 유효 압축률 고려 유무에 따른 공저압의 변화를 나타낸 그래프이다. 유효 압축률을 반영하지 않았을 때 공저압이 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 유효 압축률을 고려하지 않아 암석의 팽창이 일어나지 않아서 저류층의 압력을 유지시키지 못하기 때문이다. 저류층의 압력이 초기에 급격히 감소하면서 오일 일일생산량도 빠르게 증가한다. 유효 압축률을 반영하지 않은 경우에는 생산 시작 직후 공저압이 급격하게 감소하여 오일 일일생산량이 빠르게 증가되고 이는 주입속도가 최대 운영 주입속도까지 빠르게 도달하게 한다. 하지만 유효 압축률을 반영한 경우에는 그와 달리 공저압이 상대적으로 서서히 감소하기 때문에 주입속도가 운영 조건까지 느리게 도달한다. 다른 폴리머 특성 인자의 경우에도 250일 이

Fig. 9. Cumulative oil productions in cases of 100 and 500 BPD in polymer injection rate.

후 오일 일일생산량이 지속적으로 증가하다가 감소되지만 Fig. 10에서는 폴리머 주입속도가 다른 경우보다 크기 때문에 오일 생산량이 급격하게 증가한다. 전체 주입 및 생산 기간을 두고 보면 주입 후 오일 일일생산량이 500일까지 증가하다가 감소한다. 유효 압축률 반영 여부에 따른 영향을 살펴볼 수 있는 구간이 초기 생산 구간이므로 Fig. 10에서 그 구간만을 확대하여 나타냈다. Fig. 10에서 나타낸 250일전까지는 두 경우의 오일 일일생산량의 차이가 크게 나타나지만 이후부터는 두 경우의 오일 일일생산량의 차이가 확연히 줄어든다. 다른 폴리머 특성 인자보다 폴리머 주입속도가 큰 경우가 상대적으로 유효 압축률을 고려하지 않은 경우가 오일이 더 빠르게 주입정에서 생산정까지

Fig. 10. Bottomhole pressure and oil production rate with 500 BPD of polymer injection rate.

이동하였다(Figs. 5, 8 and 11).

4. 결 론

본 연구에서는 균열의 압축률을 도출하기 위해서 균열의 특성인 균열의 투과도, 간격, 공극률을 이용하였으며 도출한 균열의 압축률을 포함한 암석의 유효 압축률을 시뮬레이터에 적용하였다. 이를 적용하여 균열 저류층에서 폴리머 공법을 적용할 시 유효 압축률의 영향을 받은 주입 유체의 거동이 오일 생산에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

1. 균열 압축률의 고려유무에 따른 오일 회수량을 분석하는데 있어서 균열의 특성 따라 오일 회수에 미치는 영향이 다르다. 균열의 특성 중 균열 투과도가 높

을수록 유효 압축률의 유무에 따른 누적 오일 생산량의 차이가 많이 나타났다. 이는 균열의 투과도가 높은 경우 유체의 유동이 균열을 통해 더 많이 이루어지고 있기 때문이다.

2. 균열의 특성 중 균열 간격의 경우 균열의 압축률을 고려하지 않은 경우가 고려한 경우보다 누적 오일 생산량이 상대적으로 높게 나타났다. 균열의 간격이 좁을수록 유효 압축률의 고려 유무에 따라 누적 오일 생산량의 차이가 큰 것을 확인하였다.

3. 폴리머 특성에 따른 균열 압축률의 고려유무가 오일 회수에 미치는 영향을 분석하였다. 분석한 폴리머의 특성은 폴리머의 분자량, 농도, 주입속도이며 이 특성들이 높을수록 유효 압축률 고려 유무에 따른 생산량의 차이가 크게 나타났다. 이는 유효 압축률을 고려할 경우 폴리머 분자량, 농도의 경우에는 균열 간극의 수축으로 인한 폴리머 주입 효과가 상대적으로 더 크게 감소하기 때문에 오일 생산량에 영향을 준다고 할 수 있다. 또한 주입속도의 경우에는 주입속도가 클수록 저류층에 가해지는 압력이 크기 때문에 주입속도가 클수록 유효 압축률의 고려유무에 따라 누적오일 생산량의 차이가 크게 난다.

4. 폴리머 공법의 주요 인자인 폴리머 분자량, 농도, 주입속도가 높아질수록 공저 압력의 경우에도 유효 압축률을 고려하지 않은 경우가 고려한 경우보다 빠르게 급감하였으며 이는 오일 생산량에도 영향을 주었다. 하지만 어느 정도 공저 압력이 감소한 이후에는 유효 압축률을 고려하지 않은 경우는 저류층의 압력이 더 이상 유지가 되지 않으므로 오일 생산량이 초기에 비해 높지 않음을 확인할 수 있다.

5. 주입정의 유동 양상도 유효 압축률의 고려유무에

Fig. 11. Comparing oil saturations when polymer injection rate is 500 BPD.

따라 차이를 보인다. 유효 압축률 고려 유무에 관계없이 주입량은 운영 조건에서 설정한 최대 주입량까지 도달하지만, 유효 압축률을 고려하지 않은 경우는 고려한 경우에 비해 더 빠르게 도달한다는 것을 확인했다.

사 사

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20122010300020)

References

- Aguilera, R. (1999) Recovery Factors and Reserves in Naturally Fractured Reservoirs. J. of Canadian Petroleum Technology, v.38, p.15-18.
- Aguilera, R. (2006) Effect of Fracture Compressibility on Oil Recovery from Stress-Sensitive Naturally Fractured Reservoirs. J. of Canadian Petroleum Technology, v.45, p.49-59.
- Ahmed, M.S., Ahmed, G., Mahmoud, K., Ahmed, A. and Ahmed, H. (2012) Overview of Polymer Flooding(EOR) in North Africa Fields-Elements of Designing A New Polymer/Surfactant Flood Offshore(Case Study). SPE North Africa Technical Conference and Exhibition, Cairo, Egypt, Feb. 20-22, SPE 151952.
- Emami, M., Kharat, R. and Ghzanfari, M.H. (2008) Effect of Heterogeneity of Layered Reservoirs in Polymer Flooding: An Experimental Approach Using Five-Spot Glass Micromodel. SPE Europec/EAGE Annual Conference and Exhibition, Rome, Italy, Jun. 9-12, SPE 113820.
- Gregory, S.D. (1984) Determination of Molecular Weights and Molecular Weight Distribution of Polyacrylamides. 59th Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, USA, Sep. 16-19, SPE 13150.
- Jones, F.O. (1975) A Laboratory Study of the Effects of Confining Pressure on Fracture Flow and Storage Capacity in Carbonate Rocks. J. of Petroleum Technology, v.27, p.21-27.
- Kim, T.H. (2007) Fracture Characterization and Estimation of Fracture Porosity of Naturally Fractured Reservoirs with No Matrix Porosity Using Stochastic Fractal Models. Dissertation of Doctor of philosophy in Texas A&M University.
- Lee, G.S. (2008) Numerical Simulation of Mobility Control Process by Polymer Flooding. J. of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineering, v.45, p.433-440.
- Muralidharan, V., Chakravarthy, D., Putra, E. and Schechter, D.S. (2004) Investigating Fracture Aperture Distributions Under Various Stress Conditions Using X-ray CT Scanner. Petroleum Society's 5th Canadian International Petroleum Conference, Alberta, Canada, Jun. 8-10, PETSOC 2004-230.
- Nelson, R.A. (2005) Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs. 2nd, Gulf Professional Publishing, Boston, p.82-93.
- Obuekwe, M. (2011) Polymer Flood Simulation in A Heavy Oil Field: Offshore Niger-Delta Experience. SPE Enhanced Oil Recovery Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, Jul. 19-21, SPE 145027.
- Sayedakram, N.I. and Mamora, D. (2011) Simulation Study on Surfactant-Polymer Flood Performance in Fractured Carbonate Reservoir. SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition, Al-Khobar, Saudi Arabia, May 15-18, SPE 149106.
- Seo, J.W., Lee, T.H., Lee, Y.S., Sung, W.M. and Lee, J.H. (2009) Development of 3D DFN Model with Rectangular Fracture Type. J. of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineering, v.46, p.279-288.
- STARS User Manual, Version 2012. Calgary, Alberta, Computer Modelling Group(CMG).
- Thomas, L.K., Dixon, T.N. and Pierson, R.G. (1983) Fractured Reservoir Simulation. J. of Society of Petroleum Engineers, v.23, p.42-54.
- Wang, D., Seright, R.S., Shao, Z. and Wang, J. (2007) Key Aspects of Project Design for Polymer Flooding. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Anaheim, California, USA. Nov. 11-14, SPE 109682.

2014년 5월 30일 원고접수, 2014년 6월 17일 1차수정,
2014년 6월 17일 게재승인