



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0131338
(43) 공개일자 2019년11월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 10/04 (2012.01) G06Q 10/06 (2012.01)
G06Q 50/06 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 10/04 (2013.01)
G06Q 10/0637 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0056093
(22) 출원일자 2018년05월16일
심사청구일자 2018년05월16일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대 학교)
(72) 발명자
신현돈
인천광역시 서구 청라라임로 85, 103동 1302호(연 회동, 청라린스트라우스)
윤지수
경기도 부천시 중동로71번길 39, 105동 1008호(송 내동, 뉴서울아파트)
(74) 대리인
이은철, 이수찬

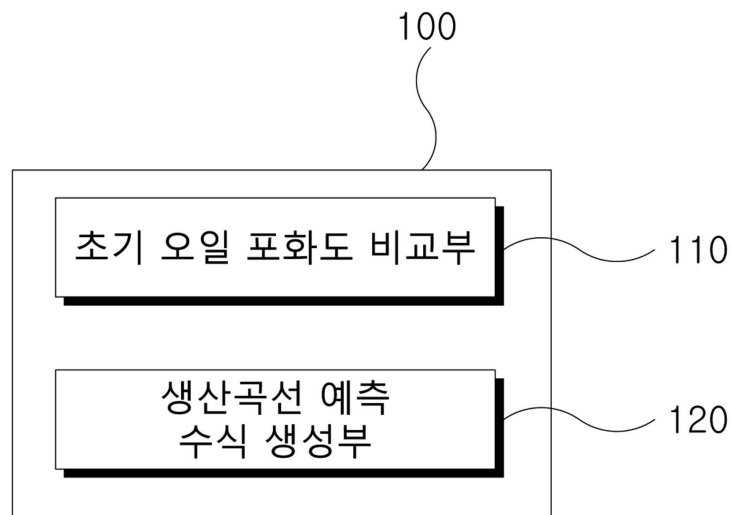
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 SAGD 생산곡선 예측장치

(57) 요약

본 발명은 SAGD 생산곡선 예측장치에 관한 것으로서, 초기 오일 포화도 기준값을 구비하고 있고, 오일 생산량 예측 대상 저류층의 초기 오일 포화도를 상기 초기 오일 포화도 기준값과 비교하여 초기 오일 포화도 비교결과를 생성하는 초기 오일 포화도 비교부; 그리고, 상기 초기 오일 포화도 비교부에서 생성된 상기 초기 오일 포화도 비교결과를 참조하여 상기 오일 생산량 예측 대상 저류층의 오일 생산곡선 예측 수식을 생성하는 생산곡선 예측 수식 생성부; 를 포함한다. 이로 인해, 오일 생산량 예측 대상인 저류층의 초기 오일 포화도를 기준값과 비교하여, 비교결과에 따라 타입을 분류하여 타입별 생산곡선 예측 수식을 생성하므로, 생성된 생산곡선 예측 수식을 이용하여 저류층의 오일 생산량을 예측할 수 있게 되고, 이에 따라, 예측된 오일 생산량을 기반으로 저류층의 개발여부 판단에 지표로 이용할 수 있는 효과가 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06Q 50/06 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

초기 오일 포화도 기준값을 구비하고 있고, 오일 생산량 예측 대상 저류층의 초기 오일 포화도를 상기 초기 오일 포화도 기준값과 비교하여 초기 오일 포화도 비교결과를 생성하는 초기 오일 포화도 비교부; 그리고, 상기 초기 오일 포화도 비교부에서 생성된 상기 초기 오일 포화도 비교결과를 참조하여 상기 오일 생산량 예측 대상 저류층의 오일 생산곡선 예측 수식을 생성하는 생산곡선 예측 수식 생성부; 를 포함하는 SAGD 생산곡선 예측장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 초기 오일 포화도 기준값은 0.74이고, 상기 초기 오일 포화도 비교부는 상기 오일 생산량 예측 대상 저류층의 상기 초기 오일 포화도가 상기 초기 오일 포화도 기준값 이상 또는 미만으로 제1 타입의 생산곡선과 제2 타입의 생산곡선으로 분류한 후, 상기 생산곡선 예측 수식 생성부에서 상기 오일 생산량 예측 대상 저류층의 오일 생산곡선 예측 수식을 생성하는 것을 특징으로 하는 SAGD 생산곡선 예측장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 생산곡선 예측 수식 생성부는 종래의 저류층의 오일 생산곡선을 첫 번째 변곡점과 두 번째 변곡점을 기준으로 세 개의 구간으로 나누어, 각각의 구간에 대한 예측 수식으로 생성하는 것을 특징으로 하는 SAGD 생산곡선 예측장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 생산곡선 예측 수식 생성부는, 상기 첫 번째 변곡점이 나타나는 시간 및 오일 유량을 예측하는 식을 생성하는 생산최고점 수식 생성부; 상기 두 번째 변곡점이 나타나는 시간의 식을 생성하는 감퇴시작점 수식 생성부; 상기 종래의 저류층의 오일 생산곡선의 영점에서 상기 첫 번째 변곡점에 이르는 생산진입 구간의 식을 생성하는 생산진입기 수식 생성부; 상기 첫 번째 변곡점에서 상기 두 번째 변곡점에 이르는 구간의 생산안정기의 감퇴식을 생성하는 생산안정기 수식 생성부; 그리고, 상기 두 번째 변곡점에서 나머지 구간을 지수(exponential)식으로 생성하는 생산감퇴기 수식 생성부; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 SAGD 생산곡선 예측장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 생산최고점 수식 생성부는 하기의 식 1과 식 2를 이용하여 상기 첫 번째 변곡점에서의 오일 유량(Peak_Rate) 및 시간(Peak_Time)을 예측하는 식을 생성하는 것을 특징으로 하는 SAGD 생산곡선 예측장치.

[식 1]

$$\text{Peak_Rate} = 0.19 \times (H)^{0.72} \times (K_v)^{0.8} \times (S_o)^{0.79} \times (P_{inj.})^{0.58}$$

[식 2]

$$\text{Peak_Time} = 6.6 \times (H)^{1.6} \times (K_v)^{-1} \times (S_o)^{0.88} \times (P_{inj.})^{-0.76}$$

(이때, H는 저류층의 두께이고, K_v 는 저류층의 수직 투과도이고, S_o 는 저류층의 초기 오일 포화도이고, $P_{inj.}$ 는 스템 주입 압력임.)

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 감퇴시작점 수식 생성부는 하기의 식 3을 이용하여 상기 두 번째 변곡점에서의 시간(Peak_Time)을 예측하는 식을 생성하는 것을 특징으로 하는 SAGD 생산곡선 예측장치.

[식 3]

$$\text{Decline_Time} = 48451 \times (K_v)^{-55} \times (S_o)^{2.8} \times (P_{inj.})^{-0.97}$$

(이때, K_v 는 저류층의 수직 투과도, S_o 는 저류층의 초기 오일 포화도, $P_{inj.}$ 는 스템 주입 압력임.)

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 생산진입기 수식 생성부는 하기의 식 4를 이용하여 상기 생산진입기의 식을 생성하는 것을 특징으로 하는 SAGD 생산곡선 예측장치.

[식 4]

$$y = a \times t^{1/3}$$

(이때, y는 생산진입기에서의 오일 생산량이고, a는 상수로서 $\text{Peak_rate}/\text{peak_time}^{1/3}$ 으로 얻을 수 있으며, 이때, Peak_rate는 첫 번째 변곡점에서의 일일 오일 생산량이고, Peak_time은 첫 번째 변곡점에서의 시간이고, t는 저류층의 오일 생산량을 예측할 때 대입할 시간 상수임.)

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 생산안정기 수식 생성부는 하기의 식 5 내지 식 6, 및 식 9를 이용하여 상기 생산안정기의 감퇴식을 생성하는 것을 특징으로 하는 SAGD 생산곡선 예측장치.

[식 5]

$$q = \frac{q_0}{1 + D_h t}$$

[식 6]

$$D_{h_type1} = 0.16 \times (H)^{-0.84} \times (K_v)^{0.97} \times (S_o)^{0.04} \times (P_{inj.})^{0.26}$$

[식 9]

$$D_{h_type2} = 9.1 \times (H)^{-1.5} \times (K_v)^{0.45} \times (S_o)^{1.1} \times (P_{inj.})^{0.02}$$

(이때, q는 생산안정기에서의 오일 생산량이고, q_0 는 첫 번째 변곡점에서의 peak_rate이고, D_h 는 저류층 인자들

을 연산하여 얻어진 계수이고, D_{h_type1} 은 제1 타입의 생산곡선의 경우에 대한 D_h 계수, D_{h_type2} 은 제2 타입의 생산곡선의 경우에 대한 D_h 계수이고, H 는 저류층의 두께, K_v 는 저류층의 수직 투과도, S_o 는 저류층의 초기 오일 포화도, $P_{inj.}$ 는 스팀 주입 압력이고, t 는 저류층의 오일 생산량을 예측할 때 대입할 시간 상수임.)

청구항 9

제4항에 있어서,

상기 생산감퇴기 수식 생성부는 하기의 식 7 및 식 8을 이용하여 상기 생산감퇴기의 지수식을 생성하는 것을 특징으로 하는 SAGD 생산곡선 예측장치.

[식 7]

$$q = q_1 \times \exp(-D_e t)$$

[식 8]

$$D_e = -0.002 \times (H)^{0.05} \times (K_v)^{0.62} \times (S_o)^{0.7} \times (P_{inj.})^{0.64}$$

(이때, q_1 은 두 번째 변곡점에서의 오일 유량이고, D_e 는 저류층 인자들을 연산하여 얻어진 계수로서 H 는 저류층의 두께, K_v 는 저류층의 수직 투과도, S_o 는 저류층의 초기 오일 포화도, $P_{inj.}$ 는 스팀 주입 압력이고, t 는 저류층의 오일 생산량을 예측할 때 대입할 시간 상수임.)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 SAGD(Steam Assisted Gravity Drainage) 공법이 적용되는 오일샌드 저류층의 오일 생산량을 예측하기 위한 SAGD 생산곡선 예측장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 오일샌드가 매장된 저류층에서 오일을 생산함에 있어서, 저류층의 오일 생산량을 예측하는 것은 저류층에서 SAGD 공법을 이용하여 오일을 생산하는 개발 사업에 있어 중요한 항목이다. 그러나, SAGD 공법을 이용하는 개발 사업 초기 단계에서 오일 생산량 예측을 위한 모델이 제시되고 있지 않다.

[0003] 이에 따라, 저류층의 오일 생산을 파악하는 데 소요되는 비용 및 시간을 절감하고 저류층으로부터의 오일 생산 계획의 효율을 향상하기 위해, 저류층의 초기 특성을 이용하여 저류층의 오일 생산량을 예측할 수 있는 모델의 개발이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2018-0026842(비전통가스전에서 누적생산량증가를 지표에 따른 감퇴곡선법 선정 방법)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 저류층의 초기 특성으로부터 저류층의 오일 생산량을 예측할 수 있는 SAGD 생산곡선 예측 수식을 제공하여, 시뮬레이션을 수행하지 않고도 저류층으로부터의 오일 생산량의 예측 정

확성을 높여 생산계획의 효율성을 증대시키기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0006] 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치는 초기 오일 포화도 기준값을 구비하고 있고, 오일 생산량 예측 대상 저류층의 초기 오일 포화도를 상기 초기 오일 포화도 기준값과 비교하여 초기 오일 포화도 비교결과를 생성하는 초기 오일 포화도 비교부; 그리고, 상기 초기 오일 포화도 비교부에서 생성된 상기 초기 오일 포화도 비교결과를 참조하여 상기 오일 생산량 예측 대상 저류층의 오일 생산곡선 예측 수식을 생성하는 생산곡선 예측 수식 생성부;를 포함한다.
- [0007] 한 예에서, 상기 초기 오일 포화도 기준값은 0.74이고, 상기 초기 오일 포화도 비교부는 상기 오일 생산량 예측 대상 저류층의 상기 초기 오일 포화도가 상기 초기 오일 포화도 기준값 이상 또는 미만으로 제1 타입의 생산곡선과 제2 타입의 생산곡선으로 분류한 후, 상기 생산곡선 예측 수식 생성부에서 상기 오일 생산량 예측 대상 저류층의 오일 생산곡선 예측 수식을 생성하는 것을 특징으로 한다.
- [0008] 상기 생산곡선 예측 수식 생성부는 종래의 저류층의 오일 생산곡선을 첫 번째 변곡점과 두 번째 변곡점을 기준으로 세 개의 구간으로 나누어, 각각의 구간에 대한 예측 수식으로 생성하는 것을 특징으로 한다.
- [0009] 상기 생산곡선 예측 수식 생성부는, 상기 첫 번째 변곡점이 나타나는 시간 및 오일 유량을 예측하는 식을 생성하는 생산최고점 수식 생성부; 상기 두 번째 변곡점이 나타나는 시간의 식을 생성하는 감퇴시작점 수식 생성부; 상기 종래의 저류층의 오일 생산곡선의 영점에서 상기 첫 번째 변곡점에 이르는 생산진입 구간의 식을 생성하는 생산진입기 수식 생성부; 상기 첫 번째 변곡점에서 상기 두 번째 변곡점에 이르는 구간의 생산안정기의 감퇴식을 생성하는 생산안정기 수식 생성부; 그리고, 상기 두 번째 변곡점에서 나머지 구간을 지수(exponential)식으로 생성하는 생산감퇴기 수식 생성부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0010] 상기 생산최고점 수식 생성부는 하기의 식 1과 식 2를 이용하여 상기 첫 번째 변곡점에서의 오일 유량(Peak_Rate) 및 시간(Peak_Time)을 예측하는 식을 생성하는 것을 특징으로 한다.
- [0011] [식 1]
- [0012]
$$\text{Peak_Rate} = 0.19 \times (H)^{0.72} \times (K_v)^{0.8} \times (S_o)^{0.79} \times (P_{inj.})^{0.58}$$
- [0013] [식 2]
- [0014]
$$\text{Peak_Time} = 6.6 \times (H)^{1.6} \times (K_v)^{-1} \times (S_o)^{0.88} \times (P_{inj.})^{-0.76}$$
- [0015] (이때, H는 저류층의 두께이고, K_v 는 저류층의 수직 투과도이고, S_o 는 저류층의 초기 오일 포화도이고, $P_{inj.}$ 는 스템 주입 압력임.)
- [0016] 한 예에서, 상기 감퇴시작점 수식 생성부는 하기의 식 3을 이용하여 상기 두 번째 변곡점에서의 시간(Peak_Time)을 예측하는 식을 생성하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] [식 3]
- [0018]
$$\text{Decline_Time} = 48451 \times (K_v)^{-55} \times (S_o)^{2.8} \times (P_{inj.})^{-0.97}$$
- [0019] (이때, K_v 는 저류층의 수직 투과도, S_o 는 저류층의 초기 오일 포화도, $P_{inj.}$ 는 스템 주입 압력임.)
- [0020] 상기 생산진입기 수식 생성부는 하기의 식 4를 이용하여 상기 생산진입기의 식을 생성하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] [식 4]
- [0022]
$$y = a \times t^{1/3}$$
- [0023] (이때, y는 생산진입기에서의 오일 생산량이고, a는 상수로서 $\text{Peak_rate}/\text{peak_time}^{1/3}$ 으로 얻을 수 있으며, 이때, Peak_rate는 첫 번째 변곡점에서의 일일 오일 생산량이고, Peak_time은 첫 번째 변곡점에서의 시간이고, t는 저류층의 오일 생산량을 예측할 때 대입할 시간 상수임.)

[0024] 상기 생산안정기 수식 생성부는 하기의 식 5 내지 식 6, 및 식 9를 이용하여 상기 생산안정기의 감퇴식을 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0025] [식 5]

$$q = \frac{q_0}{1 + D_h t}$$

[0026]

[0027] [식 6]

$$D_{h_type1} = 0.16 \times (H)^{-0.84} \times (K_v)^{0.97} \times (S_o)^{0.04} \times (P_{inj.})^{0.26}$$

[0028]

[0029] [식 9]

$$D_{h_type2} = 9.1 \times (H)^{-1.5} \times (K_v)^{0.45} \times (S_o)^{1.1} \times (P_{inj.})^{0.02}$$

[0030]

[0031] (이때, q는 생산안정기에서의 오일 생산량이고, q₀는 첫 번째 변곡점에서의 peak_rate이고, D_h는 저류층 인자들을 연산하여 얻어진 계수이고, D_{h_type1}은 제1 타입의 생산곡선의 경우에 대한 D_h 계수, D_{h_type2}은 제2 타입의 생산곡선의 경우에 대한 D_h 계수이고, H는 저류층의 두께, K_v는 저류층의 수직 투과도, S_o는 저류층의 초기 오일 포화도, P_{inj.}는 스팀 주입 압력이고, t는 저류층의 오일 생산량을 예측할 때 대입할 시간 상수임.)

[0032] 상기 생산감퇴기 수식 생성부는 하기의 식 7 및 식 8을 이용하여 상기 생산감퇴기의 지수식을 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0033] [식 7]

$$q = q_1 \times \exp(-D_e t)$$

[0034]

[0035] [식 8]

$$D_e = -0.002 \times (H)^{0.05} \times (K_v)^{0.62} \times (S_o)^{0.7} \times (P_{inj.})^{0.64}$$

[0036]

[0037] (이때, q₁은 두 번째 변곡점에서의 오일 유량이고, D_e는 저류층 인자들을 연산하여 얻어진 계수로서 H는 저류층의 두께, K_v는 저류층의 수직 투과도, S_o는 저류층의 초기 오일 포화도, P_{inj.}는 스팀 주입 압력이고, t는 저류층의 오일 생산량을 예측할 때 대입할 시간 상수임.)

발명의 효과

[0038] 이러한 특징에 따르면, 본원 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치는 저류층의 초기 특성으로부터 저류층의 오일 생산량을 용이하게 예측할 수 있어, 오일 생산량 예측에 소요되는 비용 및 시간을 절감할 수 있는 효과가 있다. 그리고, 이에 따라, 저류층의 오일 생산량 예측값을 이용하여 저류층으로부터 효과적으로 오일 생산 계획을 수립할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1은 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치의 개략적인 구조를 나타낸 블록도이다.

도 2는 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치의 생산곡선 예측 수식 생성부가 참조하는 시간에 따른 오일 생산량 곡선과 초기 오일포화도 값에 따라 분류한 제1 타입 및 제2 타입의 생산곡선을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치의 예측 대상인 오일 생산곡선을 나타낸 그래프이다.

도 4는 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치의 생산곡선 예측 수식 생성부의 개략적인 구조를

나타낸 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0041] 도 1은 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치의 개략적인 구조를 나타낸 블록도이고, 도 2는 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치의 생산곡선 예측 수식 생성부가 참조하는 시간에 따른 오일 생산량 곡선과 초기 오일포화도 값에 따라 분류한 제1 타입 및 제2 타입의 생산곡선을 나타낸 도면이고, 도 3은 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치의 예측 대상인 오일 생산곡선을 나타낸 그래프이고, 도 4는 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치의 생산곡선 예측 수식 생성부의 개략적인 구조를 나타낸 블록도이다.
- [0042] SAGD 생산곡선 예측장치(100)는 오일샌드를 포함하는 저류층에서 SAGD 공법을 이용하여 오일을 생산할 때의 오일 생산량(단위 m^3/day)을 시간(단위 year)에 따라 나타낸 SAGD 생산곡선을 예측하는 장치로서, SAGD 생산곡선 예측장치에서 이루어지는 알고리즘을 기록하고 있는 컴퓨터 판독 가능한 기록매체일 수 있다.
- [0043] 또는, SAGD 생산곡선 예측장치(100)는 SAGD 생산곡선 예측 알고리즘을 수행하는 처리부를 포함하는 단말장치일 수 있다.
- [0044] SAGD 생산곡선 예측장치(100)가 단말장치로 형성되는 한 예에서, SAGD 생산곡선 예측장치(100)는 신호 또는 처리결과를 입력 또는 출력하기 위한 입력장치 또는 출력장치와, 신호 또는 처리결과를 다른 단말장치와 송수신하기 위해 유선통신 또는 유선통신을 수행하는 통신부를 포함할 수 있다.
- [0045] SAGD 생산곡선 예측장치(100)는 노트북, PDA, 태블릿 피씨, 스마트폰과 같이 휴대 가능한 단말장치로 구현될 수도 있으며, SAGD 생산곡선 예측장치(100)의 형태를 한정하지는 않는다.
- [0046] 이러한 본 발명의 한 실시예에 따른 SAGD 생산곡선 예측장치를 도 1 내지 도 4를 참고로 하여 설명하면, SAGD 생산곡선 예측장치(100)는 초기 오일 포화도 비교부(110)와 생산곡선 예측 수식 생성부(120)를 포함한다.
- [0047] 초기 오일 포화도 비교부(110)는 저류층의 초기 오일 포화도를 기준값과 비교하는 부분으로서, 기준값은 SAGD 생산곡선 예측장치(100)에서 별도의 저장장치를 구비하여 저장하고 있거나, 입력신호에 따라 입력된 값 또는 다른 단말장치로부터 유선통신 또는 무선통신을 통해 전달받은 값을 이용할 수 있다.
- [0048] 초기 오일 포화도 비교부(110)가 이용하는 기준값은 초기 오일 포화도 기준값으로서, 한 예에서, 0.74으로 설정될 수 있다.
- [0049] 초기 오일 포화도 비교부(110)가 이용하는 기준값은 입력되는 값 또는 외부의 장치로부터 전달받은 값에 의해 변경된 기준값으로 새롭게 설정 및 저장될 수 있다.
- [0050] 초기 오일 포화도 비교부(110)가 초기 오일 포화도 기준값을 0.74로 설정하는 예에서, 초기 오일 포화도가 0.74 이상일 때 오일 생산곡선은 도 2의 (a)에 도시한 청색의 그래프 형태를 갖고, 초기 오일 포화도 0.74 미만일 때 오일 생산곡선은 도 2의 (a)에 도시한 주황색의 그래프 형태를 가지므로, 오일 생산곡선들의 형태가 구분되는 초기 오일 포화도 값이 초기 오일 포화도 기준값으로서 설정될 수 있다.
- [0051] 이와 같이, 오일 생산곡선이 도 2의 (a)에 도시한 것처럼 초기 오일 포화도에 따라 서로 다른 형태로 나타나므로, 도 2의 (b)에 실선으로 도시된 제1 타입의 생산곡선(Type 1)과 도 2의 (b)에 점선으로 도시된 제2 타입의 생산곡선(Type 2)으로 분류될 수 있다.
- [0052] 이때, 초기 오일 포화도 기준값은 오일과 물의 상대 투과도 곡선에서 오일이 유동성을 갖기 시작하는 시점의 오일 포화도 값으로 설정될 수 있다.
- [0053] 초기 오일 포화도 비교부(110)는 저류층의 초기 오일 포화도를 초기 오일 포화도 기준값과 비교한 결과에 따라, 해당 저류층의 오일 생산곡선의 타입을 판단하고, 이를 생산곡선 예측 수식 생성부(120)로 전달할 수 있다.

- [0054] 생산곡선 예측 수식 생성부(120)는 초기 오일 포화도 비교부(110)로부터 저류층의 초기 오일 포화도를 초기 월 포화도 기준값과 비교한 결과 또는 오일 생산곡선의 타입과 관련된 정보를 전달받고, 이를 이용하여 생산곡선 예측 수식을 생성한다.
- [0055] 생산곡선 예측 수식 생성부(120)는 초기 오일 포화도 비교부(110)로부터 전달받은 초기 오일 포화도 비교결과에 서, 저류층의 초기 오일 포화도가 초기 오일 포화도 기준값과 같거나 큰 경우, 그리고 저류층의 초기 오일 포화 도가 초기 오일 포화도 기준값 미만인 경우를 구분하여 오일 생산곡선의 예측 수식을 생성한다.
- [0056] 다른 한 예에서, 생산곡선 예측 수식 생성부(120)는 초기 오일 포화도 비교부(110)로부터 전달받은 생산곡선 타 입 관련정보가 제1 타입의 생산곡선인 경우, 제1 타입의 생산곡선 예측 수식을 생성하고, 초기 오일 포화도 비 교부(110)로부터 전달받은 생산곡선 타입 관련정보가 제2 타입의 생산곡선인 경우, 제2 타입의 생산곡선 예측 수식을 생성한다.
- [0057] 생산곡선 예측 수식 생성부(120)가 제1 타입의 생산곡선 예측 수식을 생성하는 한 예에서, 생산곡선 예측 수식 생성부(120)는 도 3과 같이 서로 다른 형태를 갖는 세 개의 구간을 구비하는 제1 타입의 기존 오일 생산곡선에 대해 예측 수식을 생성하는데, 이때, 오일 생산곡선의 영(0)점에서 첫 번째 변곡점(10)에 이르는 구간과, 첫 번 째 변곡점(10)에서 두 번째 변곡점(20)에 이르는 구간, 그리고 두 번째 변곡점(20) 이후 구간으로, 변곡점들을 기준으로 구간을 분류하고, 분류된 각 구간들에 대한 예측 수식을 각각 생성한다.
- [0058] 생산곡선 예측 수식 생성부(120)는 첫 번째 변곡점(10)이 나타나는 시간 및 오일 유량을 예측하는 생산최고점 수식 생성부(121)와, 두 번째 변곡점(20)이 나타나는 시간을 예측하는 감퇴시작점 수식 생성부(122), 생산진입 기 수식 생성부(123)와 생산안정기 수식 생성부(124), 그리고 생산감퇴기 수식 생성부(125)를 포함한다.
- [0059] 생산최고점 수식 생성부(121)는 오일 생산곡선의 첫 번째 변곡점(10)에서의 오일 유량(Peak_Rate) 및 시간 (Peak_Time)을 예측하는 수식을 다음의 식 1 및 식 2로 생성한다.
- [0060] [식 1]
- [0061]
$$\text{Peak_Rate} = 0.19 \times (H)^{0.72} \times (K_v)^{0.8} \times (S_o)^{0.79} \times (P_{inj.})^{0.58}$$
- [0062] [식 2]
- [0063]
$$\text{Peak_Time} = 6.6 \times (H)^{1.6} \times (K_v)^{-1} \times (S_o)^{0.88} \times (P_{inj.})^{-0.76}$$
- [0064] 위의 식 1 및 식 2에서, H는 저류층의 두께이고, K_v는 저류층의 수직 투과도이고, S_o는 저류층의 초기 오일 포화 도이고, P_{inj.}는 스텝 주입 압력이다. 이때, 0.19 및 6.6의 상수 값과 H, K_v, S_o, P_{inj.}의 각 지수들은 저류층의 실제 오일 생산량 곡선의 첫 번째 변곡점에서의 오일 유량 및 시간 값이 식 1 및 식 2로부터 계산되는 오일 유 량 및 시간 값과 상관관계(R²)가 1에 가까워지도록 회귀곡선을 이용하여 도출된 값들이다.
- [0065] 감퇴시작점 수식 생성부(122)는 오일 생산곡선의 두 번째 변곡점(20)에서의 시간(Dcline_Time)을 다음의 식 3 으로 생성한다.
- [0066] [식 3]
- [0067]
$$\text{Decline_Time} = 48451 \times (K_v)^{-55} \times (S_o)^{2.8} \times (P_{inj.})^{-0.97}$$
- [0068] 위의 식 3에서, 48451의 상수 값과, K_v, S_o, P_{inj.}의 각 지수들은 저류층의 실제 오일 생산량 곡선의 두 번째 변 곡점에서의 시간이 식 3으로부터 도출되는 시간 값과 상관관계(R²)가 1에 가까워지도록 회귀곡선을 이용하여 도 출된 값들이다.
- [0069] 생산진입기 수식 생성부(123)는 오일 생산곡선의 영(0)점에서 첫 번째 변곡점(10)에 이르는 첫 번째 구간인 생 산진입기(A)의 그래프를 다음의 식 4로 생성한다.

[0070] [식 4]

$$y = a \times t^{1/3}$$

[0071]

[0072] 위의 식 4에서, y는 생산진입기(A)에서의 오일 생산량이고, a는 상수로서, $\text{Peak_rate}/\text{Peak_time}^{1/3}$ 으로 얻을 수 있으며, Peak_rate는 첫 번째 변곡점(10)에서의 일일 오일 생산량으로서 도 3의 세로축에 해당하고, Peak_time은 첫 번째 변곡점(10)에서의 시간으로서 도 3의 가로축에 해당하며, t는 저류층의 오일 생산량을 예측할 때 대입할 시간 상수이다.

[0073] 생산안정기 수식 생성부(124)는 오일 생산곡선의 첫 번째 변곡점(10)에서 두 번째 변곡점(20)에 이르는 두 번째 구간인 생산안정기(B)의 그래프를 다음의 식 5로 생성한다.

[0074] [식 5]

$$q = \frac{q_0}{1 + D_h t}$$

[0075]

[0076] 위의 식 5에서, q는 생산안정기(B)에서의 오일 생산량이고, q_0 는 첫 번째 변곡점(10)에서의 오일 유량이고, D_h 는 저류층 인자들을 연산하여 얻어진 계수로서 제1 타입의 생산곡선의 경우 다음의 식 6으로 정의되며, 식 5는 알프스(Arps)의 생산 감퇴 곡선 중 쌍곡선 감퇴식을 변형하여 생성한 수식이다.

[0077] [식 6]

$$D_{h_type1} = 0.16 \times (H)^{-0.84} \times (K_v)^{0.97} \times (S_o)^{0.04} \times (P_{inj.})^{0.26}$$

[0078]

[0079] 위의 식 6에서, D_{h_type1} 은 제1 타입의 생산곡선의 예측 수식의 산출에 이용되는 저류층 인자들의 연산으로부터 얻어진 계수이고, H는 저류층의 두께, K_v 는 저류층의 수직 투과도이고, S_o 는 저류층의 초기 오일 포화도이고, $P_{inj.}$ 는 스템 주입 압력이다. 이때, 0.16의 상수 값과, H, K_v , S_o , $P_{inj.}$ 의 각 지수들은 해당 지수들은 식 6의 결과를 식 5의 D_h 에 적용하여 산출된 q 값, 즉, 저류층의 실제 오일 생산량 곡선에서의 오일 생산량 값과 상관관계(R^2)가 1에 가까워지도록 회귀곡선을 이용하여 도출된 값들이다.

[0080] 그리고, 생산감퇴기 수식 생성부(125)는 오일 생산곡선의 두 번째 변곡점(20) 이후 부분인 생산감퇴기(C)의 그래프를 다음의 식 7로 생성한다.

[0081] [식 7]

$$q = q_1 \times \exp(-D_e t)$$

[0082]

[0083] 위의 식 7은 알프스(Arps)의 생산 감퇴 곡선 중 지수(exponential)식을 변형하여 생성한 수식으로, q_1 은 두 번째 변곡점(20)에서의 오일 유량이고, D_e 는 저류층 인자들을 연산하여 얻어진 계수로서 다음의 식 8로 정의되는 계수이다.

[0084] [식 8]

$$D_e = -0.002 \times (H)^{0.05} \times (K_v)^{0.62} \times (S_o)^{0.7} \times (P_{inj.})^{0.64}$$

[0085]

[0086] 위의 식 8에서, -0.002의 상수 값과, H, K_v , S_o , $P_{inj.}$ 의 각 지수들은 식 8의 결과를 식 7의 D_e 에 적용하여 산출된 q_1 값, 즉, 저류층의 실제 오일 생산량 곡선에서의 오일 생산량 값과 상관관계(R^2)가 1에 가까워지도록 회귀곡선을 이용하여 도출된 값들이다.

[0087] 한편, 생산곡선 예측 수식 생성부(120)가 제2 생산곡선 예측 수식을 생성하는 한 예에서, 생산곡선 예측 수식

생성부(120)는 도 2의 (b)에 도시된 것처럼, 첫 번째 변곡점과 두 번째 변곡점이 표시된 점선 그래프로부터 제2 타입의 기존 오일 생산곡선에 대해 예측 수식을 생성한다.

[0088] 그리고, 생산곡선 예측 수식 생성부(120)가 제2 타입의 생산곡선의 두 번째 구간, 즉, 첫 번째 변곡점과 두 번째 변곡점 사이의 구간의 그래프의 수식을 생성함에 있어서, 생산안정기 수식 생성부(124)는 위의 식 2로부터 해당 구간의 수식을 생성하며, 이때, D_h 는 다음의 식 9로부터 정의된다.

[0089] [식 9]

$$D_{h_type2} = 9.1 \times (H)^{-1.5} \times (K_v)^{0.45} \times (S_o)^{1.1} \times (P_{inj.})^{0.02}$$

[0091] 위의 식 9에서, D_{h_type2} 은 제2 타입의 생산곡선의 예측 수식의 산출에 이용되는 저류층 인자들의 연산으로부터 얻어진 계수이고, H는 저류층의 두께, K_v 는 저류층의 수직 투과도이고, S_o 는 저류층의 초기 오일 포화도이고, $P_{inj.}$ 는 스팀 주입 압력이다. 이때, 9.1의 상수 값과, H, K_v , S_o , $P_{inj.}$ 의 각 지수들은 식 9의 결과를 식 5의 D_h 에 적용하여 산출된 q 값, 즉, 저류층의 실제 오일 생산량 곡선에서의 오일 생산량 값과 상관관계(R^2)가 1에 가까워지도록 회귀곡선을 이용하여 도출된 값들이다.

[0092] 생산곡선 예측 수식 생성부(120)가 제2 타입의 생산곡선의 예측 수식을 생성함에 있어서, 두 번째 구간, 즉, 첫 번째 변곡점과 두 번째 변곡점 사이의 구간을 제외한 나머지는 제1 타입의 생산곡선의 예측 수식을 사용한다.

[0093] 이와 같이, 본 발명의 SAGD 생산곡선 예측장치(100)가 오일 생산량 예측 대상인 저류층의 초기 오일 포화도를 기준값과 비교하여, 제1 타입의 생산곡선과 제2 타입의 생산곡선으로 분류한 후, 생성된 생산곡선 예측 수식을 이용하여 저류층의 오일 생산량을 예측할 수 있게 되고, 이에 따라, 예측된 오일 생산량을 기반으로 저류층의 개발여부 판단에 지표로 이용할 수 있는 효과가 있다.

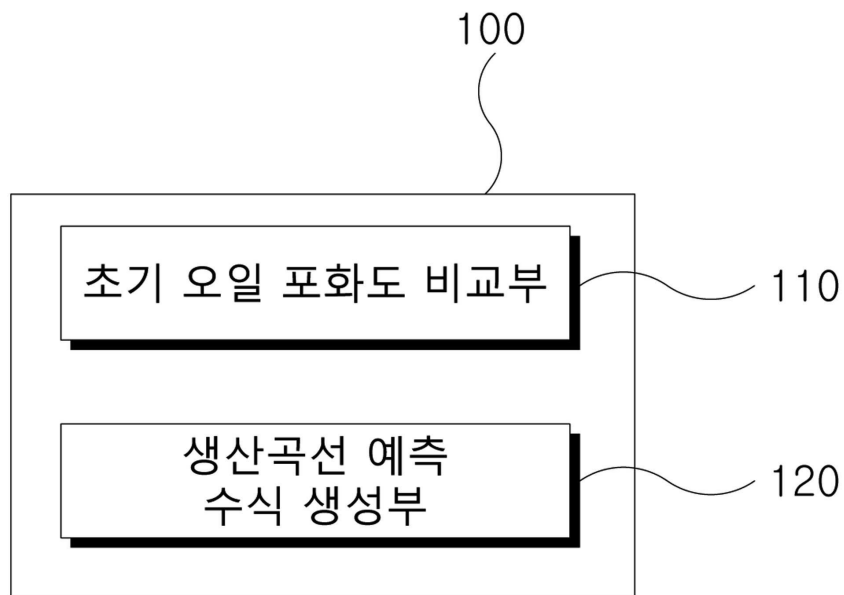
[0094] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

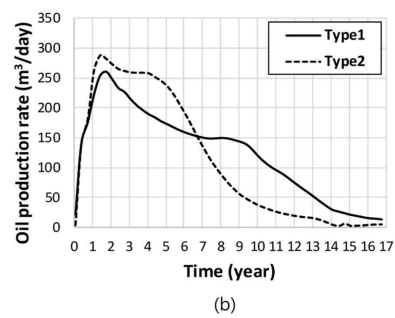
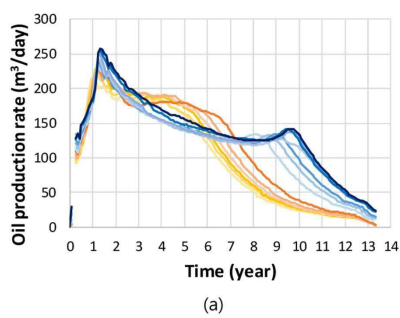
[0095] 100 : SAGD 생산곡선 예측장치 110 : 초기 오일 포화도 비교부
120 : 생산곡선 예측 수식 생성부 121 : 생산최고점 수식 생성부
122 : 감퇴시작점 수식 생성부 123 : 생산진입기 수식 생성부
124 : 생산안정기 수식 생성부 125 : 생산감퇴기 수식 생성부

도면

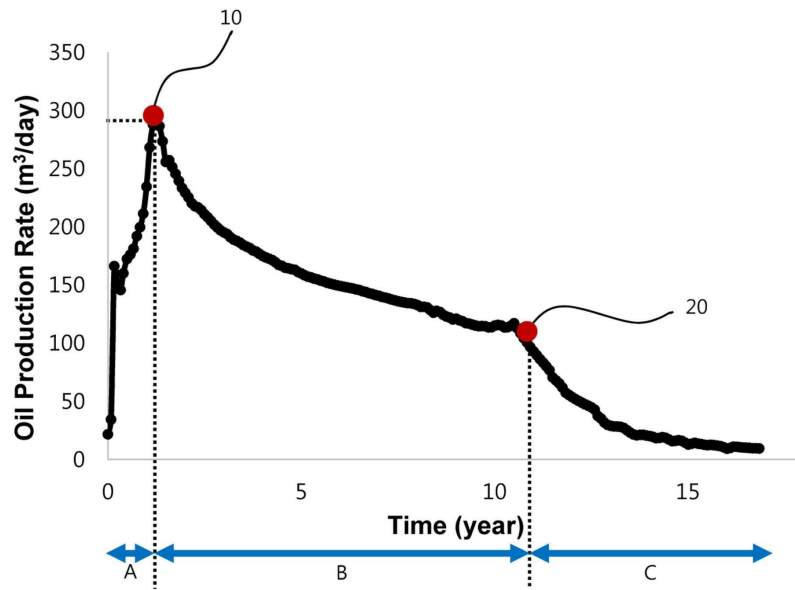
도면1



도면2



도면3



도면4

