(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월14일
(11) 등록번호 10-1838249
(24) 등록일자 2018년03월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E21B 41/00 (2006.01) *E21B 43/12* (2006.01)
E21B 47/00 (2006.01) *G06F 17/10* (2006.01)
(52) CPC특허분류
E21B 41/0092 (2013.01)
E21B 43/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0156686
(22) 출원일자 2016년11월23일
심사청구일자 2016년11월24일
(56) 선행기술조사문헌
US20140166278 A1*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
신현돈
서울특별시 양천구 목동서로 340 목동아파트 930-103
김민
대전광역시 중구 계룡로 873-11, 강남어린이집 (용두동)
(74) 대리인
이은철, 이수찬

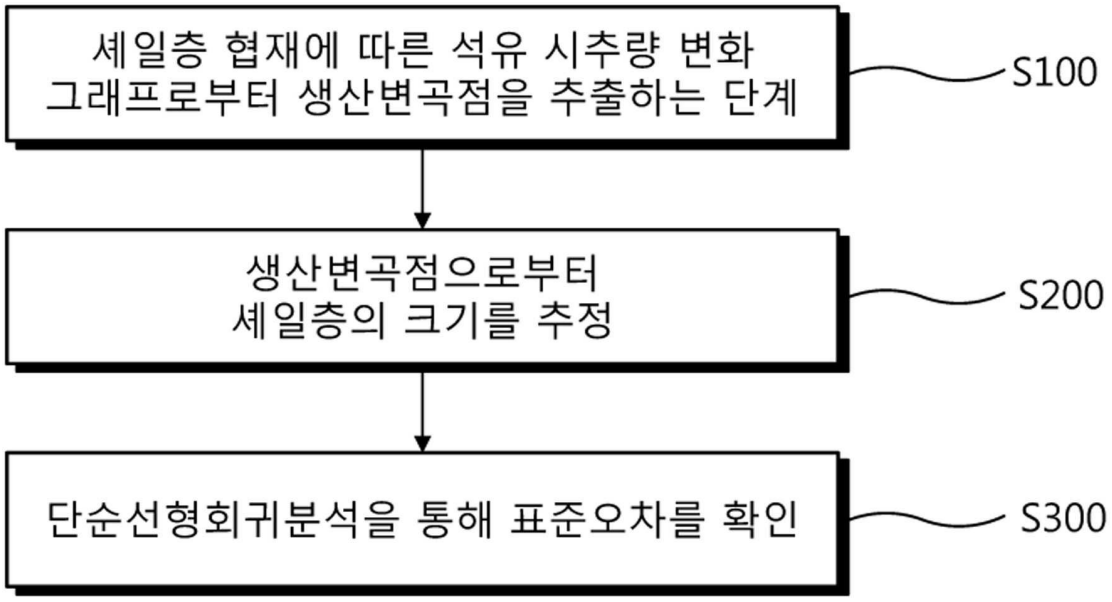
전체 청구항 수 : 총 5 항 심사관 : 김욱기

(54) 발명의 명칭 **셰일 장애층의 크기 추정방법**

(57) 요 약

본 발명은 하는 셰일 장애층의 위치 추정방법에 관한 것으로서, (a) 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계; 그리고 (b) 상기 생산변곡점으로부터 상기 셰일층의 크기를 추정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하고, 상기 (a) 단계 및 상기 (b) 단계는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프를 모니터링하는 프로세서에서 수행되며, 상기 (a) 단계는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 기울기 형태가 급격하게 변하는 네 개의 생산변곡점을 추출하여 수행되는 것을 특징으로 한다. 이로 인해, 오일샌드로부터 생산되는 오일 생산량을 저하시키는 셰일층의 크기를 효율적으로 파악할 수 있어, 이미 시추된 생산정 및 주입정 주변에 새롭게 생산정 및 주입정을 시추하고자 하는 경우, 셰일층이 형성된 위치로부터 떨어진 부분에 생산정 및 주입정을 시추하도록 디자인하여 오일 생산량을 증대시킬 수 있는 효과가 있다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
E21B 47/00 (2013.01)
G06F 17/10 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
KR101685550 B1*
US20120237981 A1*
KR101685549 B1*
김정호. 셰일층이 협재하는 오일샌드 저류층의 SAGD 수평정 위치 최적화. 인하대학교 석사학위논문. 에너지자원공학과(2015.02)*
강은규. 최적의 셰일가스 생산성평가지표 및 생산곡선에 미치는 인자분석. 인하대학교 석사학위논문. 에너지자원공학과(2016.02)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

(a) 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 세 개의 생산변곡점을 추출하는 단계; 그리고

(b) 상기 세 개의 생산변곡점 중 두 번째 생산변곡점에서의 오일 생산량이 감소하고 RF(recovery factor)가 증가할수록 상기 셰일층의 폭이 큰 것으로 추정하고, 상기 첫 번째 생산변곡점 및 두 번째 생산변곡점에서 오일 생산량 및 RF가 감소하고 세 번째 생산변곡점에서 오일 생산량 및 RF가 증가할수록 상기 셰일층의 길이가 긴 것으로 추정하여 상기 셰일층의 크기를 추정하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 셰일 장애층의 크기 추정방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계 및 상기 (b) 단계는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프를 모니터링하는 프로세서에서 수행되며,

상기 (a) 단계는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 기울기 형태가 급격하게 변하는 네 개의 생산변곡점을 추출하여 수행되는 것을 특징으로 하는 셰일 장애층의 크기 추정방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 추출되는 상기 네 개의 생산변곡점을 추출되는 순서에 따라 첫 번째 생산변곡점(FPP, first production peak), 두 번째 생산변곡점(FPT, first production trough), 세 번째 생산변곡점(SPP, second production peak), 그리고 네 번째 생산변곡점(LIP, last inflection point)로 지정하는 것을 특징으로 하는 셰일 장애층의 크기 추정방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계로부터 상기 셰일층의 크기가 추정된 이후,

(c) 단순선형회귀분석을 통해 표준오차를 확인하는 단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 셰일 장애층의 크기 추정방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 (a) 단계 및 상기 (b) 단계는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프를 모니터링하는 프로세서에서 수행되며, 상기 (c) 단계에서 상기 프로세서는 일일 오일 생산량 그래프에 포함되는 지표인 셰일층의 폭(WD;width), 셰일층의 길이를 셰일층의 수직적 위치(VL;vertical length)로 나눈 제1 지표(LL;length-location), 셰일층의 폭과 셰일층의 수직적 위치를 곱한 제2 지표(WL;width-location), 상기 첫 번째 생산변곡점에서의 일일 오일 생산량, 상기 첫 번째 생산변곡점에서의 RF, 상기 두 번째 생산변곡점에서의 일일 오일 생산량 및 상기 두 번째 생산변곡점에서의 RF간의 상관계수를 추출하고 이를 결정계수로 간주하여 셰일층의 크기의 추정값에 대한 표준오차를 계산하는 것을 특징으로 하는 셰일 장애층의 크기 추정방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 셰일 장애층의 크기 추정방법에 관한 것으로, 좀더 자세하게는, 오일샌드로부터 효율적으로 오일을 생산하기 위해 저류층에 협재된 셰일 장애층의 크기를 추정하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 오일샌드(oil sand)란 원유를 포함한 다공질 사암으로, 캐나다 중서부의 알버타 주에 매장량을 가지고 있으며, 모래에 석유가 끈적끈적하게 묻어있는 상태의 자원이다.

[0003] 이러한 오일샌드는 수십 미터 아래에 매장되어 있어 채굴이 용이한 편이며, 스팀(steam)을 방출하는 주입정(injection well)과, 주입정에서 방출된 스팀이 오일샌드를 통과하며, 유동성이 확보된 오일이 생산정(production well)을 통해 추출되게 된다.

[0004] 그러나, 도 1의 (a)에 도시한 것처럼 저류층의 두께(B)는 20m 정도인 오일샌드(1) 지층에 진흙 등으로 형성된 퇴적암 층이 두께(A) 2m 이내의 셰일층(2)이 형성되는 경우, 도 1의 (b)에 도시한 것처럼 주입정(100)과 생산정(200)을 위치시키더라도, 도 1의 (b) 및 도 2에 도시한 것처럼 주입정(100)의 배출공(110)에서 방출된 스팀이 셰일층(2)에 막혀 오일샌드를 통과하는 양이 적어지게 되고, 이에 따라 생산정(200)에 유입되는 액체 상태의 오일은 셰일층(2)이 존재하지 않을 때 생산정에 유입되는 오일 생산량보다 줄어든다.

[0005] 따라서, 오일샌드에 협재된 셰일층(2)으로부터 떨어진 위치에 주입정 및 생산정을 시추하여 오일 생산량을 증대시키기 위해서, 셰일층(2)의 협재 크기를 추정하는 방법이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제2011-0096389호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 오일샌드가 매장된 지층에 협재되어 오일샌드로부터 오일 생산 효율을 떨어뜨리는 셰일층의 크기를 효율적으로 추정하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법에 있어서, (a) 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계; 그리고 (b) 상기 생산변곡점으로부터 상기 셰일층의 크기인 폭 및 길이를 추정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 (a) 단계 및 상기 (b) 단계는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프를 모니터링하는 프로세서

에서 수행되며, 상기 (a) 단계는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 기울기 형태가 급격하게 변하는 네 개의 생산변곡점을 추출하여 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0010] 상기 프로세서는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 추출되는 상기 네 개의 생산변곡점을 추출되는 순서에 따라 첫 번째 생산변곡점(FPP, first production peak), 두 번째 생산변곡점(FPT, first production trough), 세 번째 생산변곡점(SPP, second production peak), 그리고 네 번째 생산변곡점(LIP, last inflection point)로 지정하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 이때, 상기 (b) 단계에서, 상기 프로세서는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프의 두 번째 생산변곡점과 세 번째 생산변곡점에서의 오일 생산량이 감소하고 RF(recovery factor)가 증가할수록 상기 셰일층의 폭이 큰 것으로 추정하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 상기 (b) 단계에서, 상기 프로세서는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프의 첫 번째 생산변곡점 및 두 번째 생산변곡점에서의 오일 생산량 및 RF가 감소하고, 세 번째 생산변곡점에서의 오일 생산량 및 RF가 증가할수록 상기 셰일층의 길이가 긴 것으로 추정하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 상기 (b) 단계로부터 상기 셰일층의 크기가 추정된 이후, (c) 단순선형회귀분석을 통해 표준오차를 확인하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 상기 (a) 단계, 상기 (b) 단계 및 상기 (b) 단계는 상기 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프를 모니터링하는 프로세서에서 수행되며, 상기 (c) 단계에서 상기 프로세서는 일일 오일 생산량 그래프에 포함되는 지표들간의 상관계수를 추출하고 이를 결정계수로 간주하여 셰일층의 크기의 추정값에 대한 표준오차를 계산하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0015] 이러한 특징에 따르면, 오일샌드 지층에 이미 시추한 수평정(주입정 또는 생산정)들로부터 오일샌드 층의 오일 생산을 저하시키는 셰일층의 크기를 효율적으로 파악할 수 있어, 오일샌드 개발을 위해 인접 지역에 수평정을 삽입함에 있어, 크기가 파악된 셰일층을 피하여 오일샌드 지층에 주입정 및 생산정을 시추하도록 디자인함으로써 오일 생산량을 증대시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법을 설명하기 위해, 셰일층이 협재된 오일샌드 저류층을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법을 설명하기 위해, 종래의 SAGD 공법을 이용하여 오일샌드 저류층으로부터 오일을 생산하는 방법을 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법을 나타낸 흐름도이다.

도 4는 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법에서 이용하는 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프이다.

도 5는 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법에서 오일 생산량을 나타내는 그래프로부터 추출되는 생산변곡점을 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법에서 오일 생산량을 나타내는 그래프로부터 셰일층의 폭 추정방법을 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법에서 오일 생산량을 나타내는 그래프로부터 셰일층의 길이 추정방법을 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법에서 셰일층의 폭 예측값을 점으로 나타낸 그래프이다.

도 9는 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법에서 오일 생산량에 따른 제1 지표의 값을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 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.

[0018] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법을 설명한다.

[0019] 본 발명의 한 실시예에 따른 셰일 장애층의 크기 추정방법은 도 3에 도시한 것처럼, 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계(S100), 추출된 생산변곡점으로부터 셰일층의 크기를 추정하는 단계(S200), 단순선형회귀분석을 통해 표준오차를 확인하는 단계(S300)를 포함한다.

[0020] 먼저, 도 4를 참고로 하여 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계(S100)에서 이용하는 셰일층 협재에 따른 오일 생산량 변화 그래프를 설명하면, 셰일층 협재에 따른 일일 오일 생산량 그래프는 도 4에 도시한 것처럼 시간(x축, 3개월)에 따른 일일 오일 생산량(y축, m3/d)을 나타낸다.

[0021] 그래프들 중에서, 일일 오일 생산량을 나타내는 그래프는 전형적인 SAGD(steam-assisted gravity drainage) 생산곡선(이하, '표준 SAGD 곡선'이라 함)과는 상이한 곡선 형태를 갖는다.

[0022] 특히, 도 5의 (b)에 도시한 일일 오일 생산량 그래프는 도 5의 (a)에 도시한 표준 SAGD 생산곡선과는 달리, 기울기들이 갑자기 변하는 지점, 즉, 변곡점을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0023] 이에 따라, 도 4의 그래프를 참고로 하는 프로세서에서 도 3의 첫 번째 단계(S100)를 수행함에 있어서, 일일 오일 생산량 그래프에서 기울기가 갑자기 변하는 지점을 생산변곡점으로서 추출하게 된다.

[0024] 한 예에서, 프로세서는 도 4의 그래프들의 정보를 입력받아 모니터링하는 동작 및 이에 따른 후속 처리동작을 수행하는 장치일 수 있고, 바람직하게는, 컴퓨터에 형성될 수 있으며, 처리결과를 연결된 모니터에 전달하여 출력할 수 있다.

[0025] 그리고, 한 예에서, 프로세서가 일일 오일 생산량 그래프를 표준 SAGD 그래프와 비교하여 생산 변곡점을 추출하기 위해서, 프로세서는 표준 SAGD 그래프를 참조할 수 있고, 이때, 표준 SAGD 그래프는 프로세서에 연결된 비휘발성 메모리에 저장되는 것이 좋다.

[0026] 이때, 첫 번째 단계(S100)에서 일일 오일 생산량 그래프로부터 추출하는 생산변곡점은 도 5의 (b)에 도시한 것처럼 FPP(first production peak), FPT(first production trough), SPP(second production peak), 그리고 LIP(last inflection point)가 있다.

[0027] 그리고, 각 생산변곡점이 추출된 순서대로, 첫 번째 생산변곡점을 FPP로, 두 번째 생산변곡점을 FPT로, 세 번째 생산변곡점을 SPP로, 그리고 네번째 생산변곡점을 LIP로 각각 지정한다.

[0028] 첫 번째 생산변곡점인 FPP는 스팀이 셰일층(2)을 처음으로 만나 오일샌드지층의 투과를 방해받는 시점에 형성되고, 두 번째 생산변곡점인 FPT는 스팀이 셰일층(2)의 폭을 우회하는 시점에 형성된다.

[0029] 그리고, 세 번째 생산변곡점인 SPP는 스팀을 분출하는 스팀챔버가 셰일층(2)에 영상을 받지 않는 지점으로 확정되는 시점에 형성되고, 네 번째 생산변곡점인 LIP는 유정 간격 양 끝까지 스팀챔버가 발달한 경우 형성된다.

[0030] 이처럼, 각 생산변곡점들이 특정 지점으로 지정된 이후, 두 번째 단계(S200)에서 프로세서는 생산변곡점을 이용하여 셰일층의 크기를 추정한다.

[0031] 두 번째 단계(S200)를 좀더 자세하게 설명하면, 프로세서는 오일샌드지층에 스팀이 통과하지 못하는 불투수층, 즉, 셰일층(2)이 형성된 경우, 스팀이 셰일층(2)을 우회함에 따라 오일 생산량 변화그래프에서 생산변곡점이 나타나는 것으로 판단하여, 생산변곡점의 형성지점을 이용하여 셰일층(2)의 크기를 추정한다.

[0032] 도 6의 (a)를 참고로 하는 한 예에서, 일일 오일 생산량 그래프에서, 적색 그래프의 FPT에서의 RF(recovery factor)보다 녹색 그래프의 FPT 및 SPP에서의 RF가 큰 값을 갖고, 녹색 그래프의 FPT 및 SPP에서의 RF보다 청색 그래프의 FPT 및 SPP에서의 RF가 더 큰 값을 갖는다.

[0033] 즉, 도 6의 (a)의 그래프에서, 적색 그래프, 녹색 그래프 및 청색 그래프에서의 FPT 및 SPP는 점점 큰 값을 갖는데, 두 번째 단계(S200)에서 프로세서는 이러한 RF 값 증가로부터 셰일층(2)이 점점 큰 폭을 갖는 것으로 추정한다.

[0034] 이때, 프로세서는 FPT 및 SPP가 형성된 지점에서 오일 생산량이 적을수록 셰일층(2)의 폭이 넓은 것으로 추정한다.

[0035] 도 6의 (a) 그래프를 참고로 하는 예로써, 적색 그래프의 FPT 및 SPP에서의 오일 생산량보다 녹색 그래프의 FPT 및 SPP에서의 오일 생산량이 더 작고, 청색 그래프의 FPT 및 SPP의 오일 생산량은 더 작은 값을 갖는다. 이에 따라, 프로세서는 FPT 및 SPP에서의 오일 생산량이 작은 값을 가질수록 셰일층(2)의 폭이 넓은 것으로 추정한다.

[0036] 그리고, 프로세서가 그래프의 RF 및 오일 생산량을 비교하여 셰일층(2)의 폭을 추정함을 설명하는 데 참조된 도 6의 (a) 그래프는 셰일층(2)의 수직적 위치 및 길이가 동일하다는 가정 하에 폭이 상이한 셰일층(2)들에 대한 그래프이다.

[0037] 좀더 자세한 예에서, 적색 그래프, 녹색 그래프 및 청색 그래프의 형태로 각각 FPT 및 SPP가 형성되는 경우, 셰일층(2)의 폭은 각각 30m, 50m, 그리고 70m일 수 있다.

[0038] 그리고 이때, 두 번째 단계(S200)에서 프로세서가 추정하는 셰일층(2)의 폭(WD, width)은 도 6의 (b)에 도시한 것처럼 셰일층(2)의 하부에 삽입되는 생산정 및 주입정의 길이방향에 수직하는 길이이다.

[0039] 그리고 이때, 두 번째 단계(S200)에서, 프로세서는 일일 오일 생산량 그래프로부터 셰일층(2)의 길이를 추정할 수 있는데, 도 7을 참고로 하여 이를 좀더 자세히 설명하면, 도 7의 (a)에 도시한 것처럼, 셰일층(2)의 길이에 따라 일일 오일 생산량 그래프 중 적색 그래프, 녹색 그래프 및 청색 그래프에서 FPP 및 FPT에서의 오일 생산량 및 RF가 점점 줄어들고, SPP에서의 오일 생산량 및 RF가 증가함에 따라 프로세서는 셰일층(2)의 길이가 긴 것으로 추정한다.

[0040] 좀더 자세한 예에서, 셰일층(2)의 길이가 300m인 경우의 적색 그래프, 셰일층(2)의 길이가 500m인 경우의 녹색 그래프 및 셰일층(2)의 길이가 700m인 경우의 청색 그래프에서, 셰일층(2)의 길이가 길수록 오일 생산을 방해하므로 FPP 및 FPT로부터 셰일층(2)의 길이를 추정할 수 있고, 셰일층(2)에 영향을 받지 않는 정도의 스팀챔버의 발달여부에 따른 생산변곡점인 SPP로부터 셰일층(2)의 길이를 추정하게 된다.

[0041] 프로세서가 그래프의 RF 및 오일 생산량을 비교하여 셰일층(2)의 길이를 추정함을 설명하는 데 참조된 도 7의 (a) 그래프는 셰일층(2)의 수직적 위치 및 폭이 동일하다는 가정 하에 길이가 상이한 셰일층(2)들에 대한 그래프이다.

[0042] 그리고, 두 번째 단계(S200)에서 프로세서가 추정하는 셰일층(2)의 길이(LN, length)는 도 7의 (b)에 도시한 것처럼 셰일층(2)의 하부에 삽입되는 생산정 및 주입정의 길이방향을 따라 형성된 길이를 지칭한다.

[0043] 이와 같이, 도 6 내지 도 7을 참고로 하여 설명한 것처럼, 두 번째 단계(S200)에서 프로세서는 생산변곡점으로부터 셰일층의 크기를 추정하여, 셰일층(2)의 폭과 길이 파악을 통해, 이미 시추된 생산정 및 주입정 주변에 새롭게 주입정(100) 및 생산정(200)을 시추하고자 하는 경우, 폭 및 길이가 파악된 셰일층으로부터 떨어진 부분에 주입정 및 생산정을 시추하도록 디자인할 수 있어, 오일 생산량이 증대되는 효과를 기대할 수 있다.

[0044] 계속해서, 다시 도 2를 참고로 하여 프로세서가 수행하는 세 번째 단계인 단순선형회귀분석을 통해 표준오차를 확인하는 단계(S300)를 설명하면, 프로세서는 두 번째 단계(S200)로부터 추정 및 판단한 결과데이터인 셰일층(2)의 수치데이터에 단순선형회귀분석을 수행하여 표준오차를 확인하는 동작을 수행한다.

[0045] 먼저, 프로세서는 셰일층(2)의 길이를 수직 위치로 나누어 제1 지표(LL, Length-Location)를 생성하고, 셰일층(2)의 폭과 수직 위치를 곱하여 제2 지표(WL, Width-Location)를 생성한다.

[0046] 이 단계(S300)에서, 프로세서는 먼저 일일 오일 생산량 그래프에 포함되는 지표들로부터 다음의 표 1과 같이 상관계수(correlation coefficient, r)를 추출하여 상관계수가 1에 수렴하는 지표를 확인할 수 있다.

표 1

[0047]

	WD	LEG	VL	LL	WL	Oil rate at FPP	RF at FPP	Oil rate at FPT	RF at FPT
WD	1								
LEG	.278**	1							
VL	0	0	1						
LL	.236**	.668**	-.708**	1					
WL	.804**	.212**	.482**	-.214**	1				
Oil rate at FPP	-.233**	-.182*	.872**	-.727**	.283**	1			
RF at FPP	0	0	.226**	-.337**	.195*	0	1		
Oil rate at FPT	-.414**	-.504**	.766**	-.900**	0	.810**	.361**	1	
RF at FPT	.916**	0	.203**	0	.913**	0	.237**	0	1

* : p < 0.05, ** : p < 0.01

[0048] 한 예에서, 프로세서는 표 1로부터 두 번째 생산변곡점(FPT)에서의 오일 생산량과 LL지표 사이의 상관계수가 -9.00으로, 1에 수렴하는 것을 알 수 있다.

[0049] 이때, LL지표는 셰일층의 길이를 수직적 위치로 나눈 값이다.

[0050] 그리고, 한 예에서, 프로세서는 표 1로부터 두 번째 생산변곡점(FPT)에서의 RF(recovery factor)와 셰일층의 폭을 나타내는 지표인 WD(width) 지표 사이에 0.916의 상관계수를 갖고, 셰일층의 길이를 나타내는 지표인 WL지표 사이의 상관계수가 0.913으로 각각 1에 수렴하는 것을 알 수 있다.

[0051] 이때, WL지표는 셰일층의 폭과 수직적 위치를 곱한 값이다.

[0052] 이처럼, 프로세서는 표 1로부터 1에 수렴하는 상관계수들을 결정계수로 간주하여, 다음의 표 2와 같이 수직적 위치(VL)에 따른 추정값의 표준오차(SEE, standard error estimate) 및 WD를 계산한다.

표 2

[0053]

수직적 위치	셰일 장애층의 폭 예측 선형회귀식	R^2	SEE
8 m	WD = 246.15 × RF at FPT + 10.07	0.96	4.50
10 m	WD = 230.75 × RF at FPT + 5.41	0.87	8.30
12 m	WD = 221.53 × RF at FPT + 5.49	0.88	7.22
14 m	WD = 218.21 × RF at FPT + 3.59	0.94	5.18
16 m	WD = 198.68 × RF at FPT + 4.66	0.98	2.7
18 m	WD = 208.16 × RF at FPT + 1.03	0.98	2.33

[0054] 한 예에서, 추정값의 표준오차는 여러 수직적 위치(VL)에 대해 위의 표 2와 같이 계산되어 평균 5m의 표준오차를 가짐을 알 수 있다. 이처럼, 프로세서는 셰일층의 폭을 예측하는 선형 회귀식으로부터 셰일층의 폭을 평균 5m의 표준오차 범위로 추정할 수 있게 된다.

[0055] 좀더 자세한 예에서, 폭을 추정하고자 하는 셰일층의 수직적 위치(VL, vertical length)가 10m인 경우, 두 번째 생산변곡점(FPT)에서의 RF에 따른 셰일층의 폭 예측값은 도 8에 도시한 점들의 형태로 산출되며 선형적(linear)한 표준오차 범위 내에서 산출됨을 알 수 있다.

[0056] 그리고 이때, 두 번째 생산변곡점(FPT)에서의 오일 생산량과 LL지표와의 관계는 도 9의 (a)에 도시한 것처럼 셰일층의 폭(WD)이 50m로 일정한 경우 셰일층의 수직적 위치(VL)가 깊어질수록, 즉, 셰일층과 주입정 사이의 길이가 길어질수록 두 번째 생산변곡점(FPT)에서의 오일 생산량이 증가하고, 셰일층의 길이(LN)가 길어질수록 두 번째 생산변곡점(FPT)에서의 오일 생산량이 증가하므로, LL지표를 활용할 수 있다.

[0057] 이에 따라, 도 9의 (b)에 도시한 것처럼 두 번째 생산변곡점(FPT)에서의 오일 생산량이 증가할수록 LL지표의 값이 선형적으로 감소하는 관계를 갖는다.

[0058] 이처럼, 프로세서는 도 9의 (b)에 도시한 선형적 형태의 그래프를 도출하고 아래의 표 3와 같이 LL지표를 예측하는 선형회귀식을 이용하여 LL지표와 FPT에서의 오일 생산량 간의 상관계수(R)를 산출하고, 표 2로부터 산출한 폭(WD)을 알고 있을 때의 LL지표값을 다음의 표 3의 선형회귀식과 같이 예측한다.

표 3

[0059]

폭	LL 예측 선형회귀식	R^2	SEE
22 m	LL = - 0.44 × Oil rate at FPT + 109.08	0.73	9.57
30 m	LL = - 0.49 × Oil rate at FPT + 114.21	0.80	8.29
42 m	LL = - 0.53 × Oil rate at FPT + 116.04	0.84	6.92
50 m	LL = - 0.57 × Oil rate at FPT + 119.93	0.86	6.46
62 m	LL = - 0.59 × Oil rate at FPT + 119.81	0.90	5.81
70 m	LL = - 0.55 × Oil rate at FPT + 116.92	0.92	5.48
82 m	LL = - 0.62 × Oil rate at FPT + 125.10	0.88	5.38
90 m	LL = - 0.54 × Oil rate at FPT + 114.88	0.81	6.92

[0060] 프로세서는 위의 표 3과 같이 각 폭(WD)에 따라 LL지표를 예측하게 되고, 한 예에서, 세일층의 수직적 위치가 10m인 경우 세일층의 길이는 70m의 오차범위로 예측되게 된다.

[0061] 그리고 이때, 추정값의 표준오차(SEE)의 평균 값은 7이다.

[0062] 또한, 세일층과 생산정 사이의 면적(WL, wide-length)은 다음의 표 4와 같이 선형회귀식에 의해 산출되며, 이때, 상관계수는 평균 0.85의 값을 갖는다.

표 4

[0063]

길이	WL 예측 선형회귀식	R^2	SEE
300 m	WL = 2998.90 × RF at FPT – 64.22	0.84	100.00
400 m	WL = 3290.98 × RF at FPT – 21.04	0.84	113.86
500 m	WL = 2875.97 × RF at FPT + 91.84	0.82	129.67
600 m	WL = 2811.54 × RF at FPT + 69.61	0.85	115.72
700 m	WL = 2939.22 × RF at FPT + 70.42	0.88	104.31

[0064] 이에 따라, 위의 표 4를 참고로 하는 한 예에서, 프로세서는 WL지표를 예측하게 되고, 세일층의 수직적 위치가 10m인 경우 세일층의 폭은 11.3m의 오차범위로 예측되게 된다.

[0065] 이때, 추정값의 표준오차(SEE)의 평균값은 113이다.

[0066] 이와 같이, 단순선형회귀분석을 통해 표준오차를 확인하는 단계(S300)에서, 프로세서는 도 9와 표 1 내지 표 4를 참고로 하여 설명한 것처럼 선형회귀분석을 수행하여 세일층의 길이 및 폭을 추정하여, 오일샌드 개발을 위한 생산정 및 주입정 시추위치를 효율적으로 디자인할 수 있게 된다.

[0067] 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

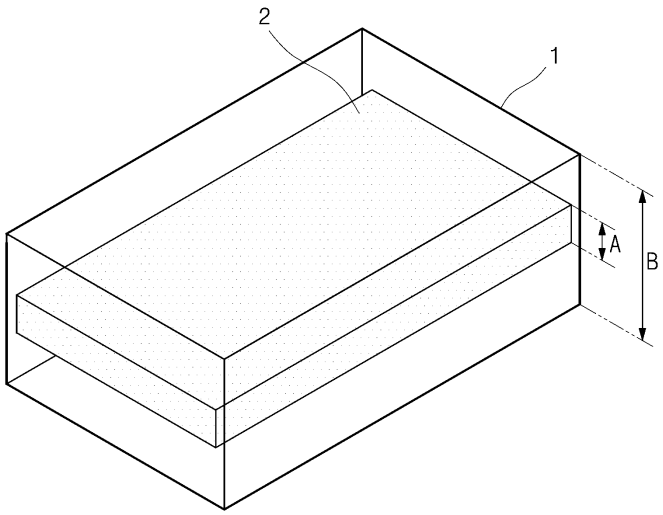
[0068] 1 : 오일샌드 지층 2 : 세일층

100 : 주입정 110 : 배출공

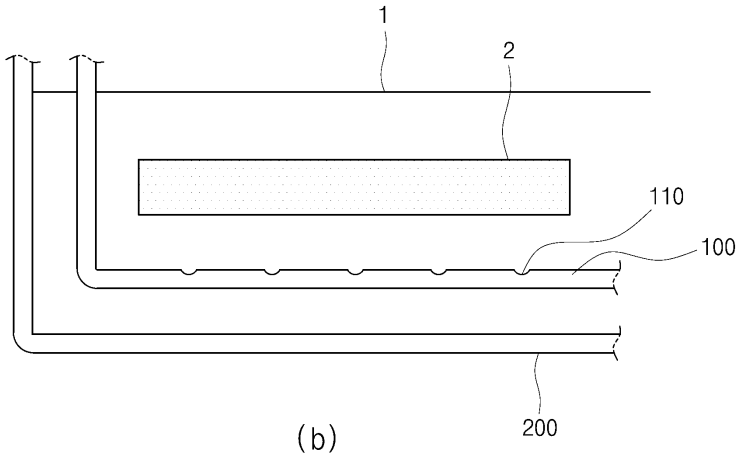
200 : 생산정

도면

도면1

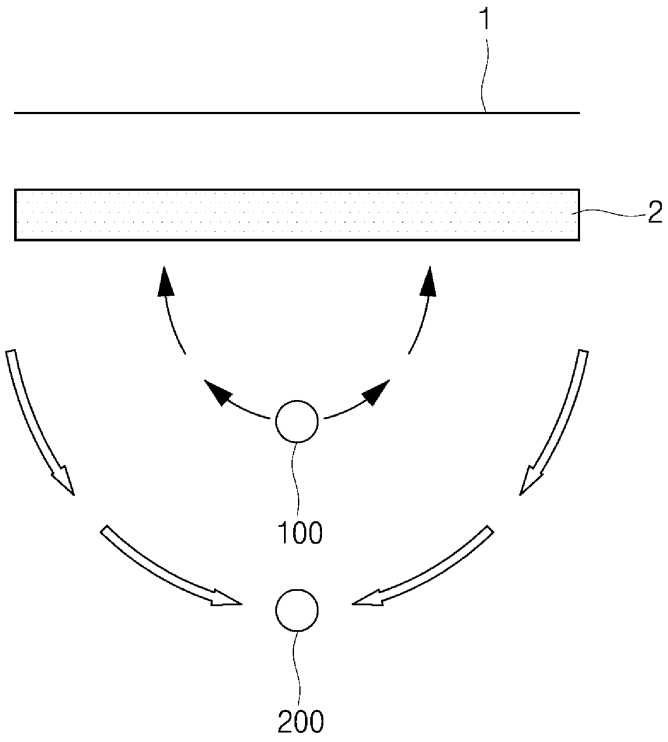


(a)

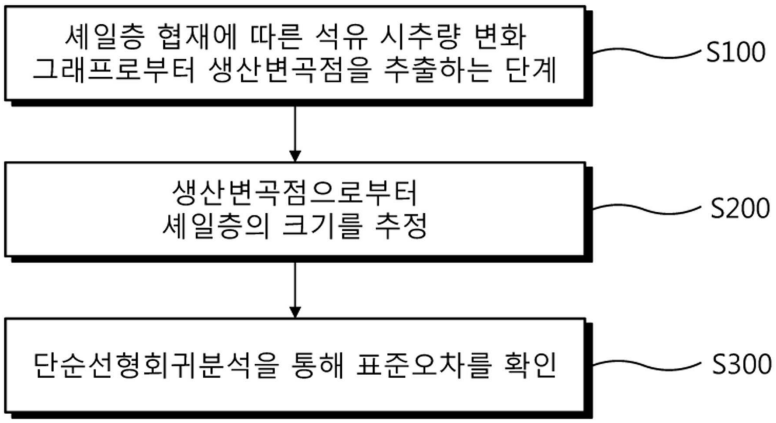


(b)

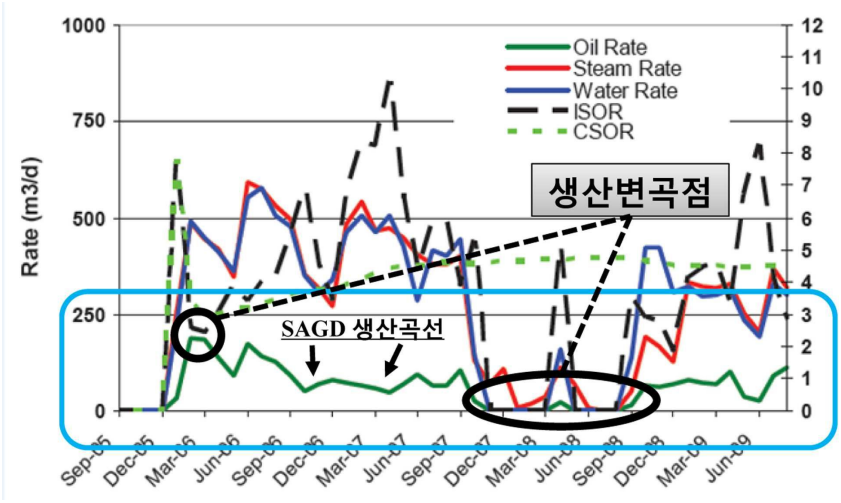
도면2


1
2
100
200

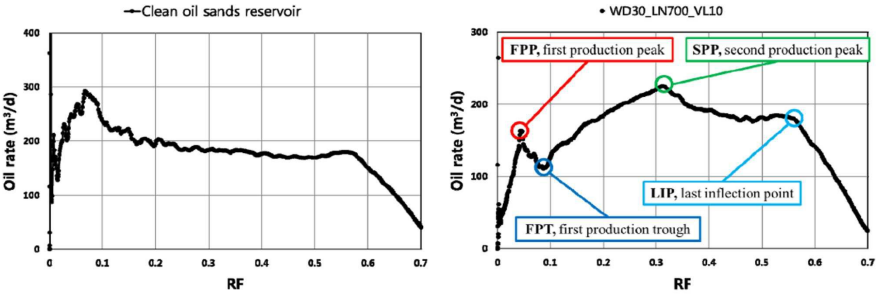
도면3


셰일층 협재에 따른 석유 시추량 변화
그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계
S100
생산변곡점으로부터
셰일층의 크기를 추정
S200
단순선형회귀분석을 통해 표준오차를 확인
S300

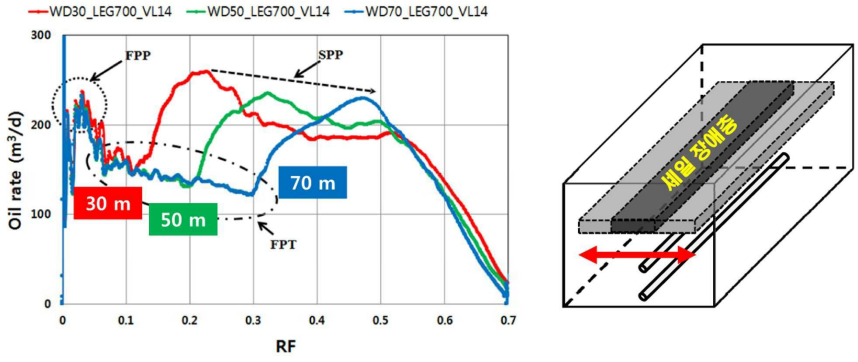
도면4


Oil Rate
Steam Rate
Water Rate
ISOR
CSOR
생산변곡점
SAGD 생산곡선
Rate (m3/d)
1000
750
500
250
0
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Sep-05
Dec-05
Mar-06
Jun-06
Sep-06
Dec-06
Mar-07
Jun-07
Sep-07
Dec-07
Mar-08
Jun-08
Sep-08
Dec-08
Mar-09
Jun-09

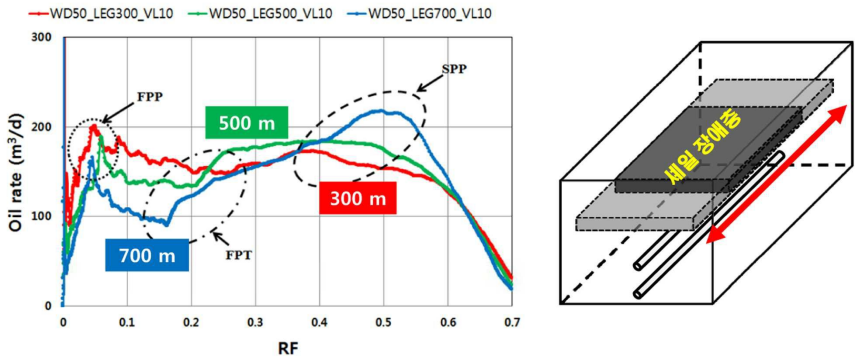
도면5


Clean oil sands reservoir
Oil rate (m³/d)
RF
(a)
WD30_LN700_VL10
FPP, first production peak
SPP, second production peak
LIP, last inflection point
FPT, first production trough
Oil rate (m³/d)
RF
(b)

도면6

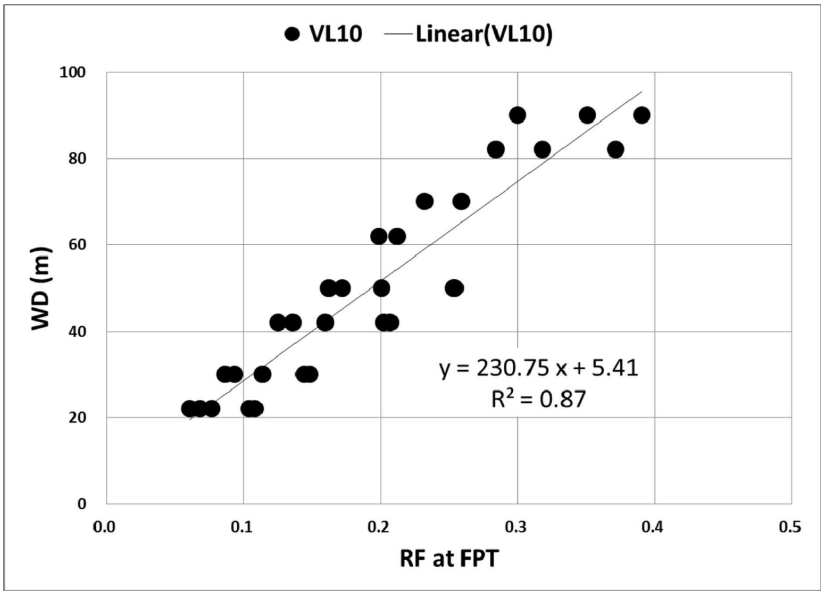

WD30_LEG700_VL14
WD50_LEG700_VL14
WD70_LEG700_VL14
FPP
SPP
30 m
50 m
70 m
FPT
Oil rate (m³/d)
RF
(a)
체적 장애층
(b)

도면7

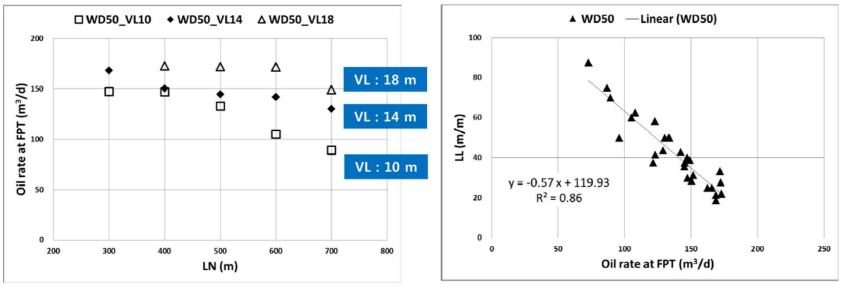


(a) (b)

도면8



도면9



(a) (b)