(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2020 년 4 월 30 일 (30.04.2020)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2020/085617 A1

(51) 국제특허분류:
G06N 3/08 (2006.01) *G06N 3/04* (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2019/008893

(22) 국제출원일: 2019 년 7 월 18 일 (18.07.2019)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2018-0127977 2018 년 10 월 25 일 (25.10.2018) KR

(71) 출원인: 동아대학교 산학협력단 (**DONG-A UNIVERSITY RESEARCH FOUNDATION FOR INDUSTRY-ACADEMY COOPERATION**) [KR/KR]; 49315 부산시 사하구 낙동대로550번길 37(하단동), Busan (KR).

(72) 발명자: 권순일 (**KWON, Sun Il**); 49302 부산시 사하구 하신번영로 400, 116동 1704호, Busan (KR). 한동권 (**HAN, Dong Kwon**); 46536 부산시 북구 금곡대로 268, 306동 1604호, Busan (KR).

(74) 대리인: 김정수 (**KIM, Jung Su**); 05543 서울시 송파구 올림픽로 360, 5층(방이동), Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

규칙 4.17에 의한 선언서:

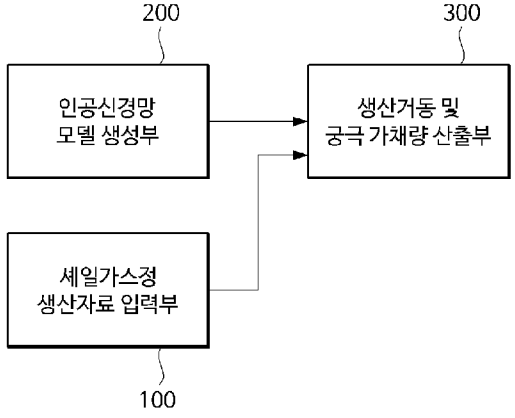
— 신규성을 해치지 아니하는 개시 또는 신규성 상실의 예외에 관한 선언 (규칙 4.17(v))

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR PREDICTING PRODUCTIVITY OF SHALE GAS WELL IN TRANSITION FLOW REGION BY USING MACHINE LEARNING TECHNIQUE

(54) **발명의 명칭:** 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법



100 ... Shale gas well production data input unit
200 ... Artificial neural network model generation unit
300 ... Production behavior and estimated ultimate recovery calculation unit

(57) **Abstract:** The present invention relates to a device and method for predicting productivity of a shale gas well in a transition flow region by using a machine learning technique and, more specifically, to a device and method for predicting productivity of a shale gas well in a transition flow region by using a machine learning technique, wherein a data-based artificial neural network model is generated to calculate future production of a shale gas well in a transition flow region, and future production behaviors and estimated ultimate recovery are calculated using a decline curve method on the basis of the calculated future production and existing production data of the shale gas well in the transition flow region, whereby accurate results can be derived with less error than conventional productivity prediction methods for shale gas wells.

(57) **요약서:** 본 발명은 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 데이터 기반의 인공신경망 모델을 생성하여 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 미래의 생산량을 산출하고, 이 산출된 미래의 생산량과 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴곡선법을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 산출함으로써 종래의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 방식에 비해 오차가 적은 정확한 결과를 도출할 수 있는, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법에 관한 것이다.

WO 2020/085617 A1

명세서

발명의 명칭: 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법

기술분야

[1] 본 발명은 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 데이터 기반의 인공신경망 모델을 생성하여 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 미래의 생산량을 산출하고, 이 산출된 미래의 생산량과 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴곡선법을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 산출함으로써 종래의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 방식에 비해 오차가 적은 정확한 결과를 도출할 수 있는, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[2] 일반적으로, 셰일가스에 대한 미래 생산 거동 및 궁극 가채량 예측은 저류층 시뮬레이션, 수압파쇄 모델링과 생산 천이 유동 분석을 통해 이루어지고 있으나 시뮬레이션의 경우 셰일가스 수압파쇄 특성과 저류층의 복잡성, 흡탈착 거동, 균열투과도 변화에 따른 유동양상을 모사하는 것에 대한 불확실성이 높다.

[3] 생산 천이 유동 분석의 경우 시간에 따른 유동 압력 및 저류층 물성 등이 필요하며 미소지진파 분석을 통한 유정 자극 부피(stimulated reservoir volume; SRV)를 산출해야 천이 유동 종료시점을 정확하게 예측가능하며 이를 통해 궁극 가채량을 산출할 수 있다.

[4] 그러나 물성자료 획득과 미소지진파 해석의 불확실성 문제 때문에 한계점이 존재한다. 이에 따라 최소한의 자료를 가지고 생산성을 예측하는 감퇴곡선법을 이용한 셰일가스정의 생산성 예측에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 전통적인 유가스 전에서 널리 활용되고 있는 Arps가 제안한 감퇴 곡선법은 유사 정상 상태 유동의 가정을 통해 만든 식으로 다단계 수압파쇄 수평정이 적용된 셰일가스의 경우 매우 낮은 투과도로 인해 경계 영향 유동에 진입하는 시점이 느리기 때문에 생산 초기 자료를 이용하여 생산 거동을 예측하는 것이 불가능하다.

[5] 또한 일반적으로, 1 ~ 2년의 천이 유동 영역의 생산자료를 활용하여 미래생산 거동을 예측할 때는 도 3의 (B)에 도시된 바와 같이 과소 예측(YM-SEPD)하거나 과대 예측(Duong)하게 되는 문제점이 있다.

[6]

[7] 미국 특허 US2016-0042272호 공보에는 셰일가스정에서 머신러닝 기법을 활용한 생산성 예측 기술이 개시되어 있다. 이 생산성 예측 기술은 비전통 오일 가스 저류층에서 다양한 시점의 누적 생산량을 예측하여 결정하는 컴퓨터를

이용한 분석 프로그램을 포함하고 있다. 이 분석 프로그램은 인공신경망 모델로 구현되어 있고, 입력자료의 다양한 파라미터와 누적생산량의 상관관계를 규명하는 모듈이 포함되어 있으며, 인공신경망 모델의 학습 및 검증을 확인할 수 있는 컴퓨터 프로그램이 포함되어 있다.

[8]

[9] 이와 같은 종래의 기술은 셰일가스 생산성에 영향을 주는 인자를 산출하고 이를 통해 인공신경망 모델을 개발하였으나 누적 생산량만 산출하므로 미래 생산 거동을 예측할 수 없는 한계를 가지고 있으며, 생산량 예측 인공신경망의 예측 성능을 증가시키기 위한 머신러닝 기법이 적용되지 않았다는 문제점이 있었다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[10] 따라서 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 이루어진 것으로서, 본 발명의 목적은 천이유동 셰일가스정에서 미래 생산 거동 및 궁극 가채량을 오차가 적게 정확히 예측할 수 있는, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법을 제공하는 데에 있다.

과제 해결 수단

[11] 상기의 목적을 달성하기 위해 본 발명의 실시형태에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치는 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 입력하도록 구성된 셰일가스정 생산자료 입력부; 데이터기반의 인공신경망 모델을 생성하여 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량을 산출하도록 구성된 인공신경망 모델 생성부; 및 상기 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량과 상기 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴 곡선법을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 산출하도록 구성된 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[12] 상기 실시형태에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치에 있어서, 상기 인공신경망 모델 생성부는 학습에 활용할 인근 셰일가스정에 대한 생산 관련 자료를 수집하고, 상기 인공신경망 모델의 입출력 변수를 선정하며, 중요도 분석을 통해 상기 선정된 입출력 변수 중 출력변수와 상관성이 높은 입력변수를 선정하여 입출력 변수의 데이터집합을 구성하며, 상기 입출력 변수의 데이터집합에 대한 군집분석을 통해 데이터 집합 내 유사성을 가지는 군집별 인공신경망 모델을 생성하며, 상기 인공신경망 모델의 출력을 미래 생산량으로 산출하도록 더욱 구성될 수 있다.

[13] 상기 실시형태에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치에 있어서, 상기 입력변수는 생산정 위치, 저류층 두께, 시추 깊이 및 가스 비중을 포함하는 네이티브(Native) 인자, 수평정 길이,

클러스터 수, 파쇄 유체 주입량 및 프로판트 주입량을 포함하는 설계 인자, 및 오일환산계수 피크, 닫힘 정두 압력, 가스 액체비, 초기 생산량, 튜빙 압력, 정두 압력, 시험 생산량, 감퇴율(1년), 및 물 생산량을 포함하는 생산 운영 인자를 포함하며; 상기 출력변수는 미래 시점의 생산량일 수 있다.

[14]

[15] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 다른 실시형태에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 방법은 셰일 가스정 생산자료 입력부에 의해 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료가 입력되는 단계; 인공신경망 모델 생성부가 데이터기반의 인공신경망 모델을 생성하여 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량을 산출하는 단계; 및 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부가 상기 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량과 상기 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴 곡선법을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[16] 상기 다른 실시형태에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 방법에 있어서, 상기 생산량을 산출하는 단계는 학습에 활용할 인근 셰일가스정에 대한 생산 관련 자료를 수집하는 단계; 상기 인공신경망 모델의 입출력 변수를 선정하는 단계; 중요도 분석을 통해 상기 선정된 입출력 변수 중 출력변수와 상관성이 높은 입력변수를 선정하여 입출력 변수의 데이터집합을 구성하는 단계; 상기 입출력 변수의 데이터집합에 대한 군집분석을 통해 데이터 집합 내 유사성을 가지는 군집별 인공신경망 모델을 생성하는 단계; 및 상기 인공신경망 모델의 출력을 미래 생산량으로 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[17] 본 발명의 실시형태에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법에 의하면, 셰일 가스정 생산자료 입력부에 의해 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료가 입력되고, 인공신경망 모델 생성부가 데이터기반의 인공신경망 모델을 생성하여 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량을 산출하며, 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부가 상기 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량과 상기 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴 곡선법을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 산출하도록 구성됨으로써 천이유동 셰일가스정에서 미래 생산 거동 및 궁극 가채량을 오차가 적게 정확히 예측할 수 있다는 뛰어난 효과가 있다.

[18]

[19] 또한, 본 발명의 실시형태에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법에 의하면, 인경 신경망 모델

생성부가 학습에 활용할 인근 셰일가스정에 대한 생산 관련 자료를 수집하고, 상기 인공신경망 모델의 입출력 변수를 선정하며, 중요도 분석을 통해 상기 선정된 입출력 변수 중 출력변수와 상관성이 높은 입력변수를 선정하여 입출력 변수의 데이터집합을 구성하며, 상기 입출력 변수의 데이터집합에 대한 군집분석을 통해 데이터 집합 내 유사성을 가지는 군집별 인공신경망 모델을 생성하며, 상기 인공신경망 모델의 출력을 미래 생산량으로 산출하도록 구성됨으로써, 인공신경망 모델의 예측성능 및 학습성능을 보다 향상시킬 수 있다는 뛰어난 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[20] 도 1은 본 발명의 실시예에 의한, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치의 블록 구성도이다.

[21] 도 2는 본 발명의 실시예에 의한, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 방법을 나타내는 플로우챠트이다.

[22] 도 3은 셰일 가스정의 생산 시간에 대한 생산량을 나타내는 그래프로서, (A)는 셰일 가스정의 생산자료 입력부에 의해 입력되는 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 나타내는 그래프이고, (B)는 1 ~ 2년의 천이 유동 영역의 생산자료를 활용하여 미래생산 거동을 예측할 때, 과소 예측(YM-SEPD)하고 과대 예측(Duong)하는 것을 나타내는 그래프이며, (C)는 본 발명의 실시예에 의해 인공신경망 모델을 이용하여 산출된 미래 생산량과 기존 천이 유동 영역의 셰일 가스정에 대한 생산자료를 나타내는 그래프이며, (D)는 본 발명의 실시예에 의해 산출된 미래 생산량과 기존 천이 유동 영역의 셰일 가스정에 대한 생산자료를 감퇴 곡선법을 이용하여 산출한 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 나타낸 그래프이다.

[23] 도 4는 도 1의 인공신경망 모델 생성부에 의해 생성되는 데이터기반의 인공신경망 모델을 나타내는 도면이다.

발명의 실시를 위한 형태

[24] 이하, 본 발명의 실시예를 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[25] 도 1은 본 발명의 실시예에 의한, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치의 블록 구성도이고, 도 3은 셰일 가스정의 생산 시간에 대한 생산량을 나타내는 그래프로서, (A)는 셰일 가스정의 생산자료 입력부에 의해 입력되는 1 ~ 2년의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 나타내는 그래프이고, (B)는 1 ~ 2년의 천이 유동 영역의 생산자료를 활용하여 미래생산 거동을 예측할 때, 과소 예측(YM-SEPD)하고 과대 예측(Duong)하는 것을 나타내는 그래프이며, (C)는 본 발명의 실시예에 의해 인공신경망 모델을 이용하여 산출된 미래 생산량과 기존 천이 유동 영역의 셰일 가스정에 대한 생산자료를 나타내는 그래프이며, (D)는 본 발명의 실시예에 의해 산출된 미래 생산량과 기존 천이 유동 영역의 셰일 가스정에 대한 생산자료를

감퇴 곡선법을 이용하여 산출한 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 나타낸 그래프이며, 도 4는 도 1의 인공신경망 모델 생성부에 의해 생성되는 데이터기반의 인공신경망 모델을 나타내는 도면이다.

[26]

[27] 본 발명의 실시예에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치는, 도 1에 도시된 바와 같이, 셰일가스정 생산자료 입력부(100), 인공신경망 모델 생성부(200) 및 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부(300)를 포함한다.

[28]

[29] 셰일가스정 생산자료 입력부(100)는 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부(300)에 입력하는 역할을 한다. 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료는 1년 내지 2년의 생산자료로서 도 3의 (A)에 도시되어 있다.

[30]

[31] 인공신경망 모델 생성부(200)는 데이터기반의 인공신경망 모델을 생성하여 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량을 산출하여 생산 거동 및 궁극가채량 산출부(300)에 입력시키는 역할을 한다.

[32] 인공신경망 모델 생성부(200)는 학습에 활용할 인근 셰일가스정에 대한 생산 관련 자료를 수집하고, 인공신경망 모델의 입출력 변수를 선정하며, 중요도 분석을 통해 선정된 입출력 변수 중 출력변수와 상관성이 높은 입력변수를 선정하여 입출력 변수의 데이터집합을 구성하며, 입출력 변수의 데이터집합에 대한 군집분석을 통해 데이터 집합 내 유사성을 가지는 군집별 인공신경망 모델을 생성하며, 인공신경망 모델의 출력을 미래 생산량으로 산출하는 역할을 한다(도 4 참조).

[33] 여기서, 중요도 분석을 통해 선정된 입출력 변수 중 출력변수와 상관성이 높은 입력변수를 선정하여 입출력 변수의 데이터집합을 구성하고, 입출력 변수의 데이터집합에 대한 군집분석을 통해 데이터 집합 내 유사성을 가지는 군집별 인공신경망 모델을 생성하는 이유는 기존 기술의 문제점인 미래 생산 거동에 대한 과소 예측 및 과대 예측을 방지하고 인공신경망 모델의 정확한 예측성능(예측 속도, 예측 정확도)을 높이기 위함이다.

[34]

[35] 인공신경망 모델의 입력변수는, 예컨대 아래의 [표 1]에 도시된 바와 같이, 생산정 위치[좌표(동경), 좌표(북위)], 저류층 두께, 시추 깊이(측정 시추 깊이, 실제 시추 깊이) 및 가스 비중을 포함하는 네이티브(Native) 인자; 수평정 길이, 클러스터 수, 파쇄 유체 주입량 및 프로판트 주입량을 포함하는 설계 인자; 및 오일환산계수 피크, 닫힘 정두 압력, 가스 액체비, 초기 생산량, 튜빙 압력, 정두 압력, 시험 생산량, 감퇴율(1년), 및 물 생산량(초기 물 생산량, 3개월 생산량)을 포함하는 생산 운영 인자를 포함한다.

[36] 출력변수는 미래 시점의 생산량인 생산운영 인자를 포함한다.

[37]

[38] [표 1]

[39]

	세부인자	상위 카테고리
출력자료	미래 시점 생산량	
입력자료	파쇄 유체 주입량	설계 인자
	프로판트 주입량	
	클러스터 수	
	수평정 길이	
	저류층 두께	네이티브(Native) 인자
	좌표(동경)	
	좌표(북위)	
	측정 시추 깊이	
	실제 시추 깊이	
	가스 비중	
	오일 환산 계수 피크	생산 운영 인자
	닫힘 정두 압력	
	가스 액체비	
	초기 생산량	
	튜빙 압력	
	정두 압력	
	초기물 생산량	
	3개월 생산량	
	시험 생산량	
	감퇴율(1년)	

[40]

[41] 도 4는 도 1의 인공신경망 모델 생성부에 의해 생성되는 데이터기반의 인공신경망 모델을 나타내는 도면으로서, 입력 자료로는 설계 인자, 네이티브 인자, 생산 운영 인자 및 셰일가스 개발 관련 인자가 포함되며, 출력자료로는 미래시점 생산량이 포함된다. 은닉층은 본 발명에 의한 데이터 기반의 미래 생산량 예측을 위한 알고리듬 인자들이다.

[42]

[43] 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부(300)는 인공신경망 모델 생성부(200)에서 산출된 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량[도 3의 (C)에서 4개의 원으로 표시됨]과 셰일가스정 생산자료 입력부(100)에서 입력된 기존의 1 ~

2년의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료[도 3의 (C)에서 붉은 점으로 표시됨]를 감퇴 곡선법(DCA analysis)을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량[도 3의 (D)에 표시됨]을 산출하는 역할을 한다.

[44] 도 3의 (D)에서 알 수 있는 바와 같이 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료와 인공신경망 모델을 이용하여 산출된 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량을 가지고 감퇴 곡선법을 수행할 경우 과대 예측 또는 과소 예측이 이루어지지 않고 과거 생산자료와 거의 수렴하는 정확한 미래 생산 거동 예측 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

[45]

[46] 이하, 상기한 바와 같이 구성된 본 발명의 실시예에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치를 이용한 생산성 예측 방법을 설명하기로 한다.

[47] 도 2는 본 발명의 실시예에 의한, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 방법을 나타내는 플로우챠트로서, 여기서 S는 스텝(step)을 나타낸다.

[48]

[49] 먼저, 셰일 가스정 생산자료 입력부(100)에 의해 기존(1년 내지 2년)의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료[도 3의 (A) 참조]가 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부(300)에 입력된다(S100).

[50]

[51] 이어서, 인공신경망 모델 생성부(200)가 데이터기반의 인공신경망 모델을 생성하여 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량을 산출한다(S200).

[52] 좀 더 상세하게는, 인공신경망 모델 생성부(200)가 학습에 활용할 인근 셰일가스정에 대한 생산 관련 자료를 수집하고(S210), 인공신경망 모델의 입출력 변수를 선정하며(S220), 중요도 분석을 통해 스텝(S220)에서 선정된 입출력 변수 중 출력변수와 상관성이 높은 입력변수를 선정하여 입출력 변수의 데이터집합을 구성하며(S230), 스텝(S230)에서 구성된 입출력 변수의 데이터집합에 대한 군집분석을 통해 데이터 집합 내 유사성을 가지는 군집별 인공신경망 모델을 생성하며(S240), 인공신경망 모델의 출력을 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량으로 산출한다(S250).

[53]

[54] 이어서, 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부(300)가 스텝(S250)에서 산출된 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량과 스텝(S100)에서 입력된 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴 곡선법을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 산출한다(S300).

[55]

[56] 본 발명의 실시예에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법에 의하면, 셰일 가스정 생산자료

입력부에 의해 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료가 입력되고, 인공신경망 모델 생성부가 데이터기반의 인공신경망 모델을 생성하여 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량을 산출하며, 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부가 상기 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량과 상기 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴 곡선법을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 산출하도록 구성됨으로써 천이유동 셰일가스정에서 미래 생산 거동 및 궁극 가채량을 오차가 적게 정확히 예측할 수 있다.

[57]

[58] 또한, 본 발명의 실시예에 의한 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치 및 방법에 의하면, 인경 신경망 모델 생성부가 학습에 활용할 인근 셰일가스정에 대한 생산 관련 자료를 수집하고, 상기 인공신경망 모델의 입출력 변수를 선정하며, 중요도 분석을 통해 상기 선정된 입출력 변수 중 출력변수와 상관성이 높은 입력변수를 선정하여 입출력 변수의 데이터집합을 구성하며, 상기 입출력 변수의 데이터집합에 대한 군집분석을 통해 데이터 집합 내 유사성을 가지는 군집별 인공신경망 모델을 생성하며, 상기 인공신경망 모델의 출력을 미래 생산량으로 산출하도록 구성됨으로써, 인공신경망 모델의 예측성능 및 학습성능을 보다 향상시킬 수 있다.

[59]

[60] 도면과 명세서에는 최적의 실시예가 개시되었으며, 특정한 용어들이 사용되었으나 이는 단지 본 발명의 실시형태를 설명하기 위한 목적으로 사용된 것이지 의미를 한정하거나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

청구범위

[청구항 1] 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 입력하도록 구성된 셰일가스정 생산자료 입력부;
데이터기반의 인공신경망 모델을 생성하여 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량을 산출하도록 구성된 인공신경망 모델 생성부; 및
상기 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량과 상기 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴 곡선법을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 산출하도록 구성된 생산 거동 및 궁극 가채량 산출부를 포함하는, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치.

[청구항 2] 제 1 항에 있어서,
상기 인공신경망 모델 생성부는
학습에 활용할 인근 셰일가스정에 대한 생산 관련 자료를 수집하고,
상기 인공신경망 모델의 입출력 변수를 선정하며,
중요도 분석을 통해 상기 선정된 입출력 변수 중 출력변수와 상관성이 높은 입력변수를 선정하여 입출력 변수의 데이터집합을 구성하며,
상기 입출력 변수의 데이터집합에 대한 군집분석을 통해 데이터 집합 내 유사성을 가지는 군집별 인공신경망 모델을 생성하며,
상기 인공신경망 모델의 출력을 미래 생산량으로 산출하도록 더욱 구성된, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치.

[청구항 3] 제 2 항에 있어서,
상기 입력변수는
생산정 위치, 저류층 두께, 시추 깊이 및 가스 비중을 포함하는 네이티브(Native) 인자,
수평정 길이, 클러스터 수, 파쇄 유체 주입량 및 프로판트 주입량을 포함하는 설계 인자, 및
오일환산계수 피크, 닫힘 정두 압력, 가스 액체비, 초기 생산량, 튜빙 압력, 정두 압력, 시험 생산량, 감퇴율(1년), 및 물 생산량을 포함하는 생산 운영 인자를 포함하며;
상기 출력변수는 미래 시점의 생산량인, 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치.

[청구항 4] 제 1 항에 기재된 머신러닝 기법을 이용한 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산성 예측 장치를 이용한 생산성 예측 방법으로서:
셰일 가스정 생산자료 입력부에 의해 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료가 입력되는 단계;

인공신경망 모델 생성부가 데이터기반의 인공신경망 모델을 생성하여 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량을 산출하는 단계; 및

생산 거동 및 궁극 가채량 산출부가 상기 미래의 천이 유동 셰일가스정에 대한 생산량과 상기 기존의 천이 유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴 곡선법을 이용하여 미래의 생산 거동 및 궁극 가채량을 산출하는 단계를 포함하는 생산성 예측 방법.

[청구항 5] 제 4 항에 있어서,

상기 생산량을 산출하는 단계는

학습에 활용할 인근 셰일가스정에 대한 생산 관련 자료를 수집하는 단계;

상기 인공신경망 모델의 입출력 변수를 선정하는 단계;

중요도 분석을 통해 상기 선정된 입출력 변수 중 출력변수와 상관성이 높은 입력변수를 선정하여 입출력 변수의 데이터집합을 구성하는 단계;

상기 입출력 변수의 데이터집합에 대한 군집분석을 통해 데이터 집합 내 유사성을 가지는 군집별 인공신경망 모델을 생성하는 단계; 및

상기 인공신경망 모델의 출력을 미래 생산량으로 산출하는 단계를 포함하는 생산성 예측 방법.

[청구항 6] 제 5 항에 있어서,

상기 입력변수는

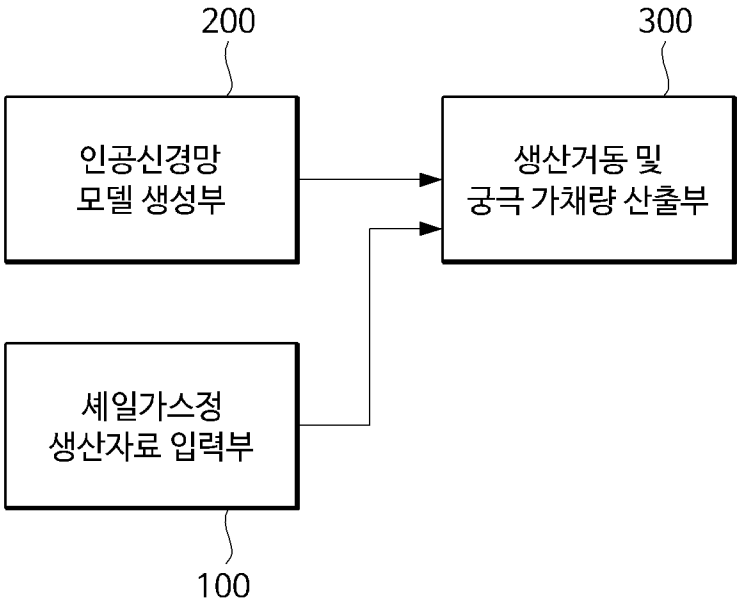
생산정 위치, 저류층 두께, 시추 깊이 및 가스 비중을 포함하는 네이티브(Native) 인자,

수평정 길이, 클러스터 수, 파쇄 유체 주입량 및 프로판트 주입량을 포함하는 설계 인자, 및

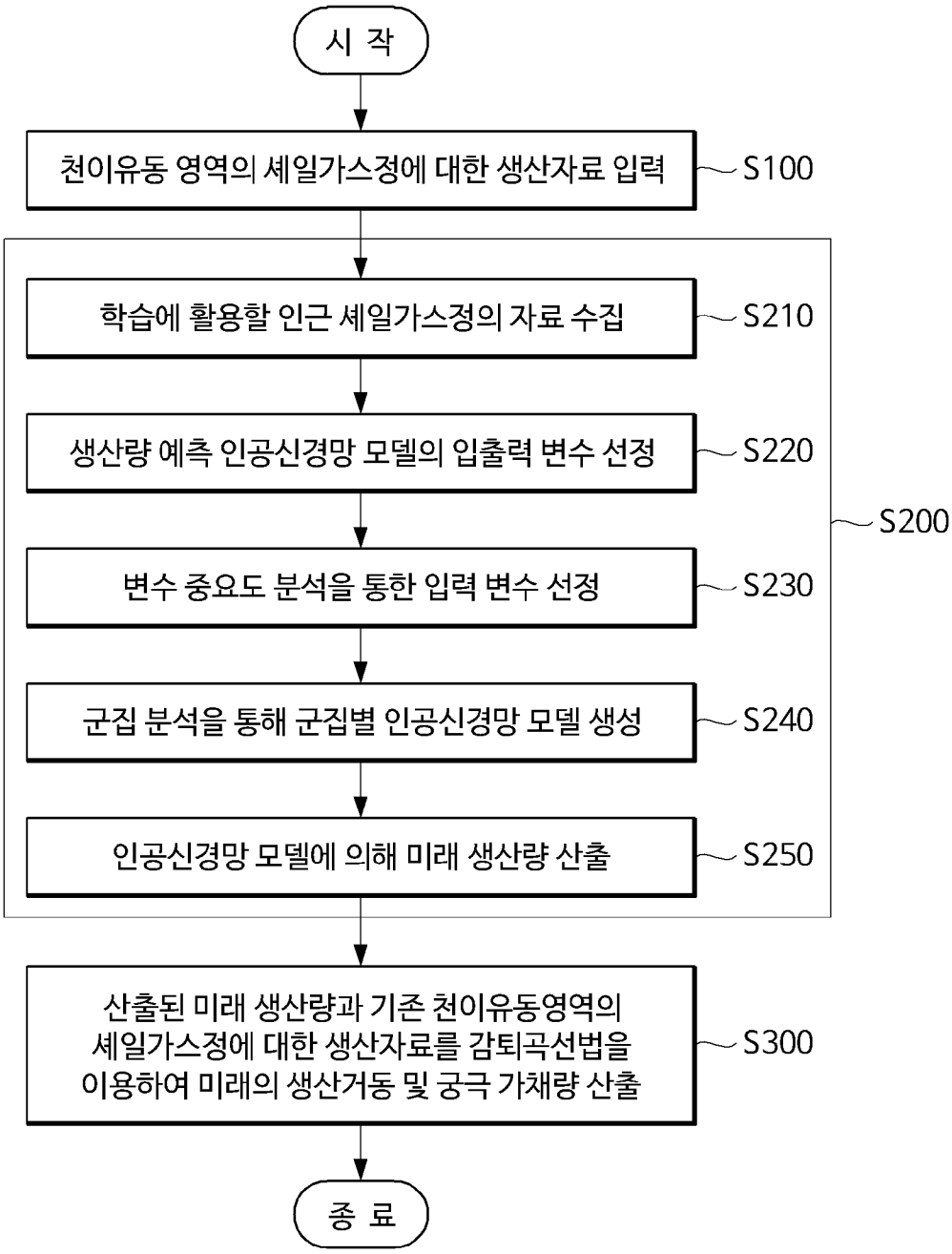
오일환산계수 피크, 닫힘 정두 압력, 가스 액체비, 초기 생산량, 튜빙 압력, 정두 압력, 시험 생산량, 감퇴율(1년), 및 물 생산량을 포함하는 생산 운영 인자를 포함하며;

상기 출력변수는 미래 시점의 생산량인 생산성 예측 방법.

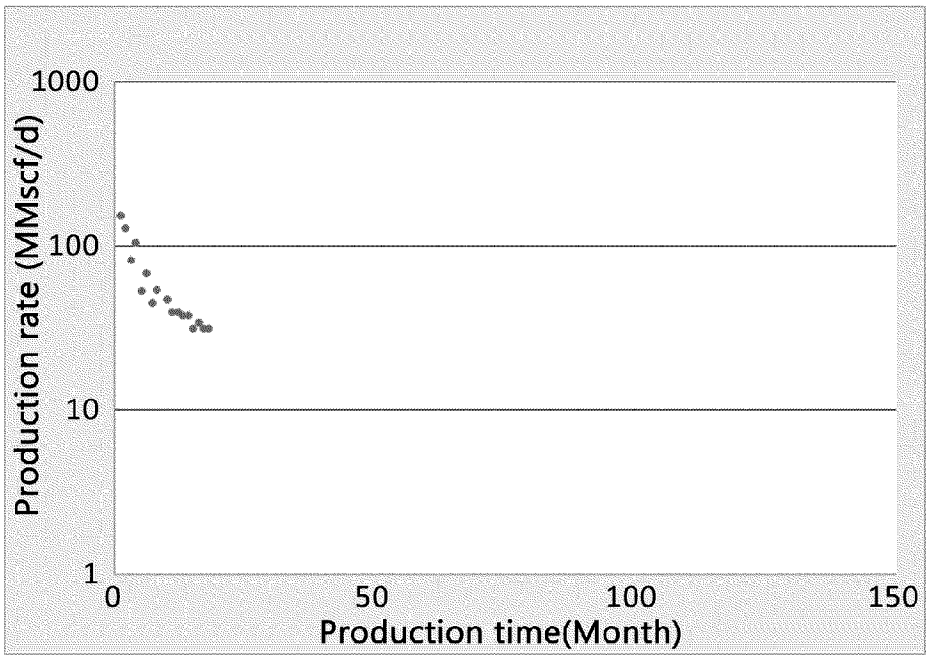
[도1]



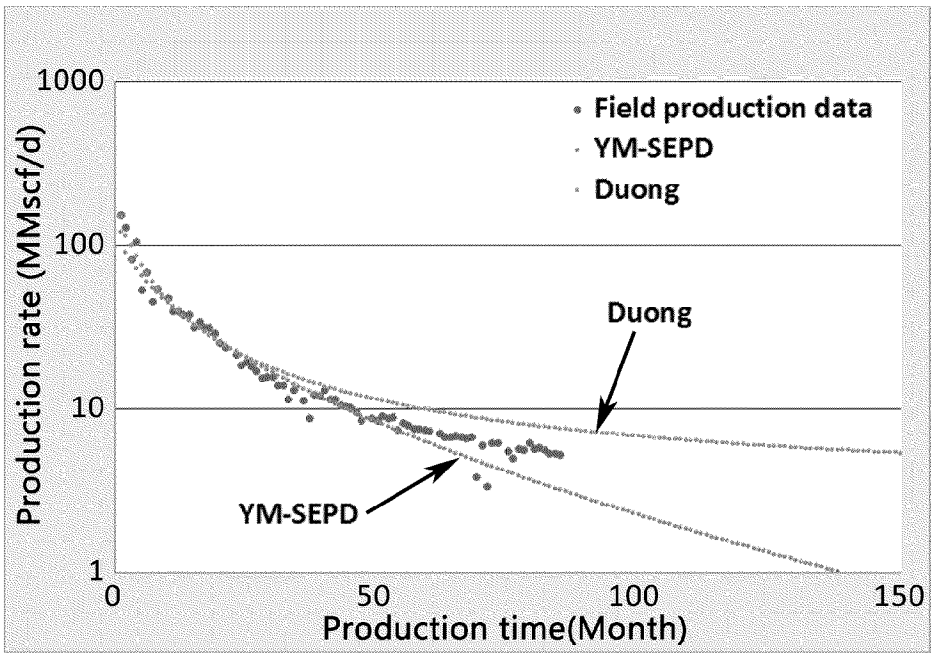
[도2]


시 작
천이유동 영역의 셰일가스정에 대한 생산자료 입력
S100
학습에 활용할 인근 셰일가스정의 자료 수집
S210
생산량 예측 인공신경망 모델의 입출력 변수 선정
S220
변수 중요도 분석을 통한 입력 변수 선정
S230
군집 분석을 통해 군집별 인공신경망 모델 생성
S240
인공신경망 모델에 의해 미래 생산량 산출
S250
S200
산출된 미래 생산량과 기존 천이유동영역의
셰일가스정에 대한 생산자료를 감퇴곡선법을
이용하여 미래의 생산거동 및 궁극 가채량 산출
S300
종 료

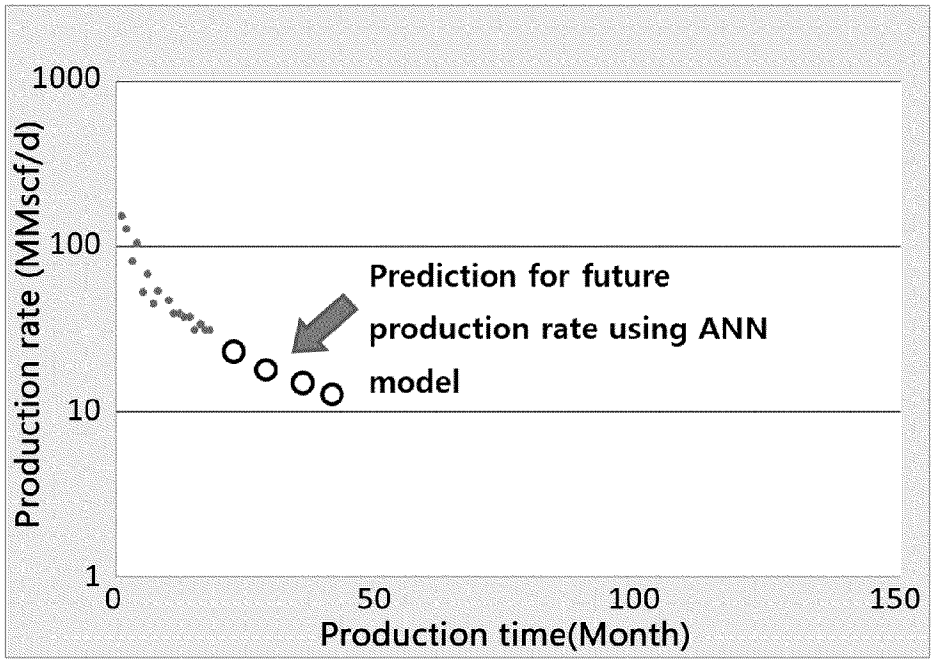
[도3a]


1000
100
10
1
Production rate (MMscf/d)
0
50
100
150
Production time(Month)

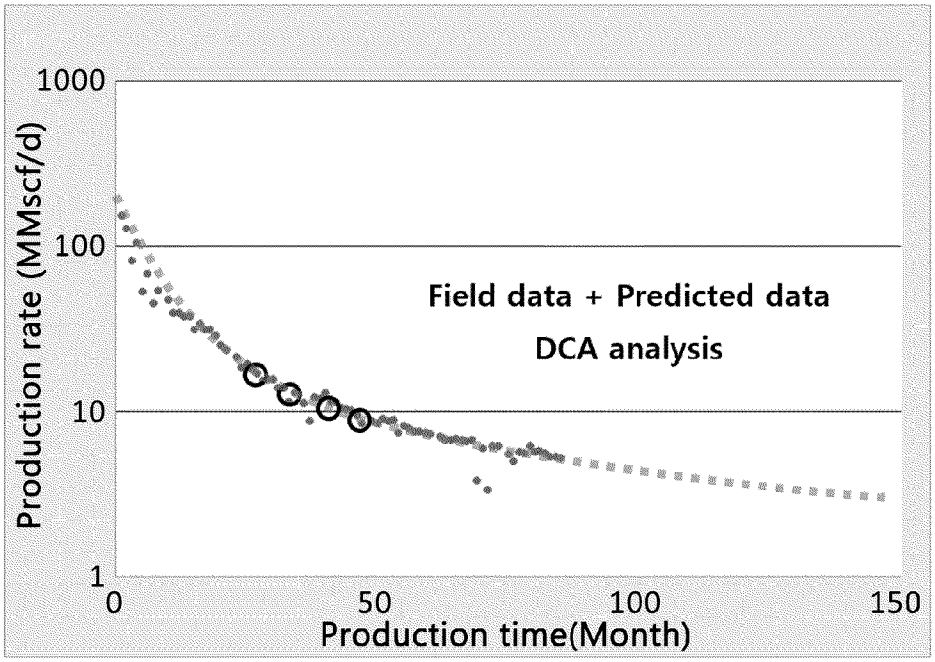
[도3b]


1000
100
10
1
Production rate (MMscf/d)
Field production data
YM-SEPD
Duong
Duong
YM-SEPD
0
50
100
150
Production time(Month)

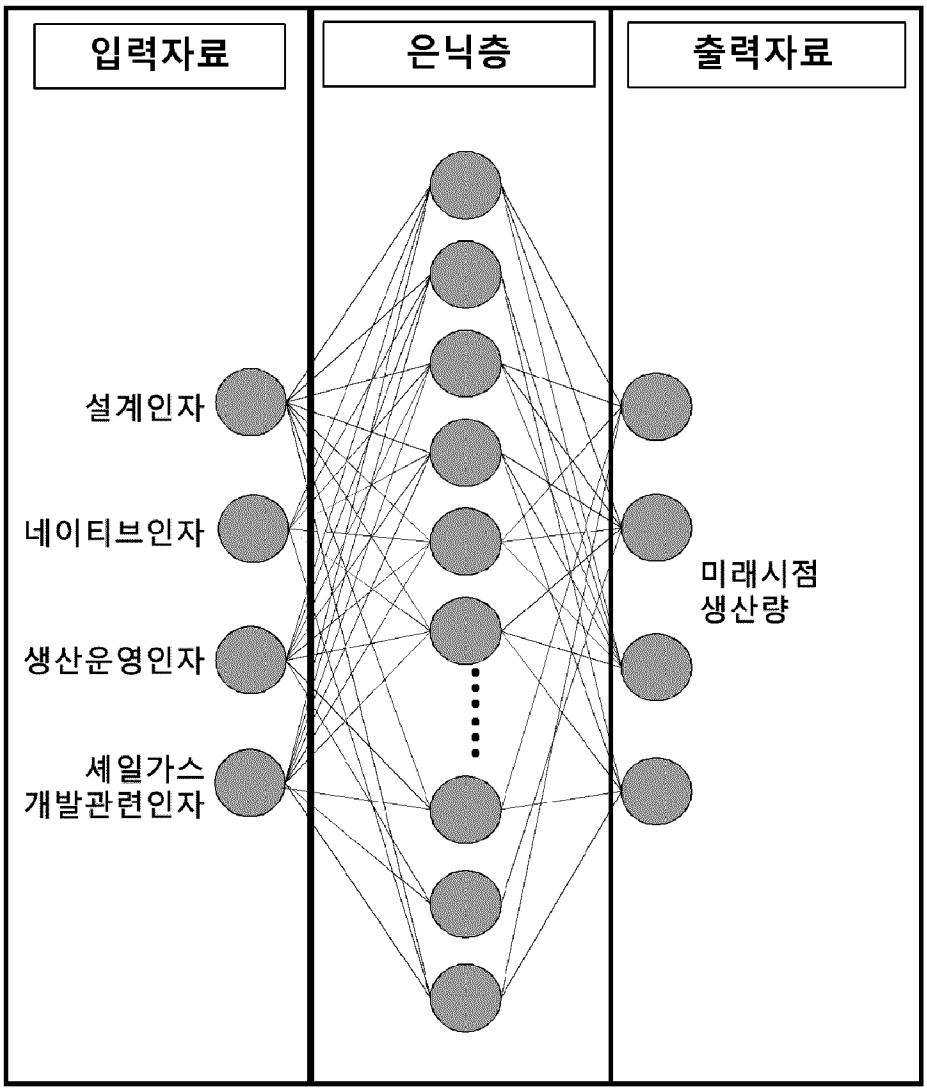
[도3c]


1000
100
10
1
Production rate (MMscf/d)
Prediction for future
production rate using ANN
model
0
50
100
150
Production time(Month)

[도3d]


1000
100
10
1
Production rate (MMscf/d)
Field data + Predicted data
DCA analysis
0
50
100
150
Production time(Month)

[도4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2019/008893

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06N 3/08(2006.01)i, G06N 3/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06N 3/08; E21B 41/00; E21B 43/00; G06N 3/04; G06N 7/00; G06Q 10/04; G06Q 10/06; G06Q 50/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: machine learning, shale gas, transitional flow, decline curve method, production forecasting

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LI, Yunan et al. Decline Curve Analysis for Production Forecasting Based on Machine Learning. Society of Petroleum Engineers Symposium: Production Enhancement and Cost Optimisation. 08 November 2017 See pages 1-7, 12-13; and figure 1.	1,4
A		2-3,5-6
A	KR 10-1647921 B1 (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY R&DB FOUNDATION) 12 August 2016 See paragraphs [0031]-[0036], [0093]-[0102]; and claim 1.	1-6
A	KR 10-1904278 B1 (DONG-A UNIVERSITY RESEARCH FOUNDATION FOR INDUSTRY-ACADEMY COOPERATION) 04 October 2018 See claim 1.	1-6
A	US 2014-0297235 A1 (BETAZI, LLC.) 02 October 2014 See claims 1-7.	1-6
A	US 2018-0202264 A1 (RS ENERGY GROUP TOPCO, INC.) 19 July 2018 See claims 21-22.	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 OCTOBER 2019 (28.10.2019)	**28 OCTOBER 2019 (28.10.2019)**
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2019/008893

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	한동권. 천이유동 셰일가스정에서 머신러닝을 활용한 생산성 예측 연구. 동아대학교 대학원 공학박사학위논문. 21 August 2018 (HAN, Dong-kwon. Production Forecasting for Shale Gas Well in Transient Flow using Machine Learning Method. Graduate School of Dong-a University, A Doctoral Thesis in Engineering.) See the entire document. ※The above document is a known document declaring exceptions to lack of novelty by the applicant.	1-6
PX	KR 10-1975436 B1 (DONG-A UNIVERSITY RESEARCH FOUNDATION FOR INDUSTRY-ACADEMY COOPERATION) 07 May 2019 See the entire document.	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2019/008893

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-1647921 B1	12/08/2016	None	
KR 10-1904278 B1	04/10/2018	WO 2018-044133 A1	08/03/2018
US 2014-0297235 A1	02/10/2014	EP 2951720 A1	09/12/2015
		EP 2951720 B1	02/05/2018
		EP 2971502 A2	20/01/2016
		US 2014-0310071 A1	16/10/2014
		WO 2014-121147 A1	07/08/2014
		WO 2014-160348 A2	02/10/2014
		WO 2014-160348 A3	10/12/2015
US 2018-0202264 A1	19/07/2018	CA 3001146 A1	17/08/2017
		EP 3414428 A2	19/12/2018
		US 10260319 B2	16/04/2019
		WO 2017-139271 A2	17/08/2017
		WO 2017-139271 A3	05/04/2018
KR 10-1975436 B1	07/05/2019	None	

국제조사보고서

국제출원번호
PCT/KR2019/008893

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G06N 3/08(2006.01)i, G06N 3/04(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

G06N 3/08; E21B 41/00; E21B 43/00; G06N 3/04; G06N 7/00; G06Q 10/04; G06Q 10/06; G06Q 50/06

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 머신러닝(machine learning), 세일 가스(shale gas), 천이 유동(transitional flow), 감퇴 곡선법(decline curve), 생산성 예측(production forecasting)

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	YUNAN LI 등, `Decline Curve Analysis for Production Forecasting Based on Machine Learning`, Society of Petroleum Engineers Symposium: Production Enhancement and Cost Optimisation, 2017.11.08 페이지 1-7, 12-13; 및 도면 1 참조.	1,4
A		2-3,5-6
A	KR 10-1647921 B1 (서울대학교산학협력단) 2016.08.12 단락 [0031]-[0036], [0093]-[0102]; 및 청구항 1 참조.	1-6
A	KR 10-1904278 B1 (동아대학교 산학협력단) 2018.10.04 청구항 1 참조.	1-6
A	US 2014-0297235 A1 (BETAZI, LLC) 2014.10.02 청구항 1-7 참조.	1-6
A	US 2018-0202264 A1 (RS ENERGY GROUP TOPCO, INC.) 2018.07.19 청구항 21-22 참조.	1-6

☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"D" 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일	국제조사보고서 발송일
2019년 10월 28일 (28.10.2019)	2019년 10월 28일 (28.10.2019)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소
대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사)
팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관
권성호
전화번호 +82-42-481-3547

국제조사보고서

국제출원번호
PCT/KR2019/008893

C (계속). 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	한동권, `천이유동 세일가스정에서 머신러닝을 활용한 생산성 예측 연구`, 동아대학교 대학원 공학박사학위논문, 2018.08.21 전체 페이지 참조. ※위 문헌은 출원인이 신규성 상실의 예외로서 선언한 공지문헌임.	1-6
PX	KR 10-1975436 B1 (동아대학교 산학협력단) 2019.05.07 전체 문서 참조.	1-6

국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2019/008893

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-1647921 B1	2016/08/12	없음	
KR 10-1904278 B1	2018/10/04	WO 2018-044133 A1	2018/03/08
US 2014-0297235 A1	2014/10/02	EP 2951720 A1	2015/12/09
		EP 2951720 B1	2018/05/02
		EP 2971502 A2	2016/01/20
		US 2014-0310071 A1	2014/10/16
		WO 2014-121147 A1	2014/08/07
		WO 2014-160348 A2	2014/10/02
		WO 2014-160348 A3	2015/12/10
US 2018-0202264 A1	2018/07/19	CA 3001146 A1	2017/08/17
		EP 3414428 A2	2018/12/19
		US 10260319 B2	2019/04/16
		WO 2017-139271 A2	2017/08/17
		WO 2017-139271 A3	2018/04/05
KR 10-1975436 B1	2019/05/07	없음	