



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0130348
(43) 공개일자 2014년11월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E21B 49/08 (2006.01) G01N 21/00 (2014.01)
E21B 47/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0048853
(22) 출원일자 2013년04월30일
심사청구일자 2013년04월30일

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
배위섭
서울특별시 광진구 능동로 68, B동 501호 (자양동, 이튼타워5차)
류원선
서울특별시 송파구 올림픽로4길 15, 13동 1102호 (잠실도, 아시아선수촌아파트)
(74) 대리인
최병길

전체 청구항 수 : 총 8 항

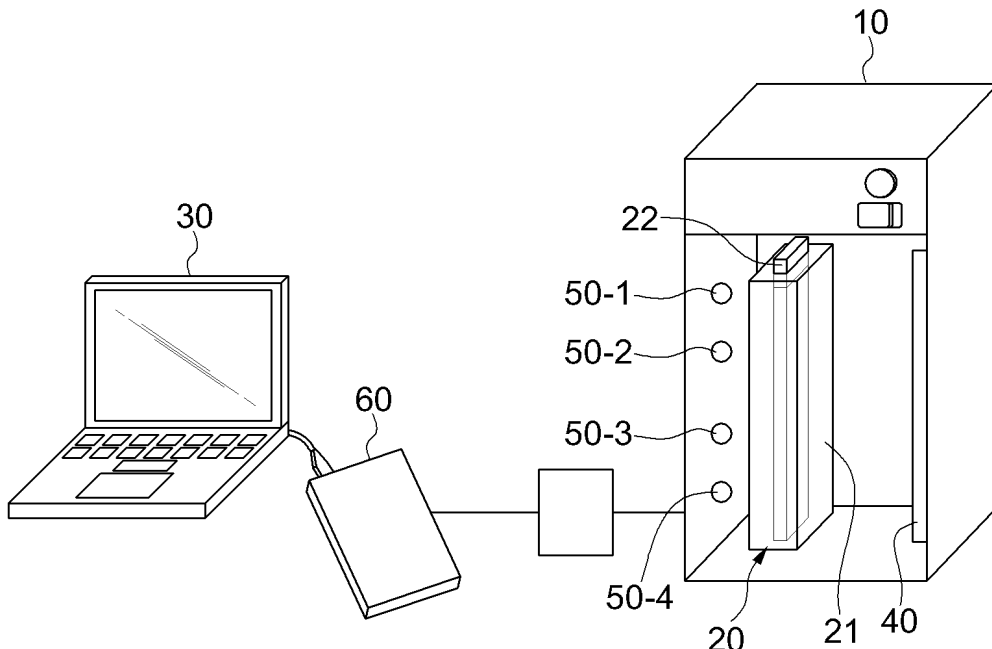
(54) 발명의 명칭 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 장치 및 방법에 관한 것으로, 간단하며 빠르고 정확한 방식으로 다양한 종류의 프로판트 슬러리의 침전 특성을 확인하여 수압파쇄에 의한 인공균열에 최대의 투수공간을 확보하도록 함으로써 생산성을 향상함을 목적으로 한다.

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



본 발명에 의한 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 장치는, 내부에 공간이 형성되며 외부의 빛이 내부에 입사되지 않도록 구성된 컨테이너(10)와; 내부에 유전지대의 균열을 표현하기 위한 유로(21a)가 형성되는 투명의 홀더 본체(21), 상기 홀더 본체의 유로를 개폐하는 마개(22)로 구성되어 상기 유로에 프로판트와 유체가 혼합된 프로판트 슬러리가 수용된 상태에서 상기 컨테이너에 교체 가능하게 장착되는 샘플 홀더(20)와; 상기 샘플 홀더를 중심으로 하여 양측에 각각 상기 샘플 홀더에 수용된 프로판트 슬러리의 이동 방향을 따라 상호 간에 일정 간격을 두고 배치되어 상기 샘플 홀더에 빛을 조사하는 다수의 발광부(40) 및 상기 샘플 홀더를 투과한 빛을 측정하는 다수의 수광부(50-1, 50-2, 50-3, 50-4)로 이루어져, 상기 샘플 홀더에 수용된 프로판트 슬러리의 프로판트의 침전을 측정하도록 하는 프로판트 침전 센서와; 상기 프로판트 침전 센서의 수광부에서 수신한 값을 근거로 하여 상기 프로판트 슬러리의 프로판트의 침전 시간, 침전 속도, 부유 시간을 포함하는 침전 데이터를 산출하는 컨트롤러(30)로 구성된다.

본 발명에 의한 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 방법은, 내부에 유전지대의 균열을 표현하기 위한 유로가 형성되는 투명의 홀더 본체, 상기 홀더 본체의 유로를 개폐하는 마개로 구성된 샘플 홀더의 유로에 프로판트와 유체가 혼합된 프로판트 슬러리를 수용한 후, 이 샘플 홀더를 외부의 빛이 입사되지 않으며 발광부와 다수의 수광부로 이루어진 프로판트 침전 센서가 갖추어진 컨테이너 내부의 상기 발광부와 수광부 사이에 장착하는 제1단계와; 상기 프로판트 침전 센서의 발광부에 전원을 인가하여 빛이 조사되도록 하고, 상기 발광부에서 조사되어 상기 샘플 홀더를 투과한 후 상기 수광부에서 수신한 빛의 세기를 근거로 하는 수신 데이터를 검출하는 제2단계와; 상기 제2단계를 통해 검출한 수신 데이터를 근거로 하여 상기 프로판트 슬러리의 프로판트의 침전 데이터를 산출하는 제3단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(72) 발명자

김인원

경기도 과천시 별양로 85, 644동 504호 (별양동, 주공아파트)

트리안토 아디푸트로 구다니

서울특별시 광진구 동일로52길 34, 506호 (군자동, 세종대학교 영실관)

이재훈

서울특별시 성동구 독서당로 272, 108동 304호 (금호동4가, 대우아파트)

권용훈

서울특별시 노원구 상계로23다길 13-8, 101동 701호 (상계동, 노원아이파크)

홍한솔

서울특별시 관악구 은천로35길 56 (성현동)

홍정재

경기도 군포시 수리산로203번안길 27 (산본동)

아크마랄 넷자노바

서울특별시 광진구 동일로52길 34, 506호 (군자동, 세종대학교 영실관)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415126545
부처명	지식경제부
연구관리전문기관	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지 자원 융합 원천기술 개발
연구과제명	다단계 수압파쇄 평가기술개발
기 여 율	1/1
주관기관	서울대학교 산학협력단
연구기간	2012.07.01 ~ 2013.06.30

특허청구의 범위

청구항 1

내부에 공간이 형성되며 외부의 빛이 내부에 입사되지 않도록 구성된 컨테이너와;

내부에 유로가 형성되는 투명의 홀더 본체, 상기 홀더 본체의 유로를 개폐하는 마개를 포함하는 샘플 홀더와;

상기 샘플 홀더를 중심으로 하여 양측에 각각 상기 샘플 홀더에 수용된 프로판트 슬러리의 이동 방향을 따라 상호 간에 일정 간격을 두고 배치되어 상기 샘플 홀더에 빛을 조사하는 하나 이상의 발광부 및 상기 샘플 홀더를 투과한 빛을 측정하는 다수의 수광부를 포함하며, 상기 샘플 홀더에 수용된 프로판트 슬러리의 프로판트의 침전을 측정하는 프로판트 침전 센서와;

상기 프로판트 침전 센서의 수광부에서 수신한 값을 근거로 하여 상기 프로판트 슬러리의 프로판트의 침전 시간, 침전 속도, 부유 시간 중 하나 이상을 포함하는 침전 데이터를 산출하는 컨트롤러를 포함하는 것을 특징으로 하는 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 수광부는 상기 샘플 홀더를 투과하는 빛의 세기에 의해 저항치가 변하는 저항(Light Dependent Resistors)인 것을 특징으로 하는 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 장치.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 샘플홀더는 상기 컨테이너에 교체 가능하게 장착되는 것을 특징으로 하는 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 장치.

청구항 4

내부에 유로가 형성되는 투명의 홀더 본체, 상기 홀더 본체의 유로를 개폐하는 마개를 포함하는 샘플 홀더의 유로에 프로판트와 유체가 혼합된 프로판트 슬러리를 수용한 후, 이 샘플 홀더를 외부의 빛이 입사되지 않으며 발광부와 다수의 수광부를 포함하는 프로판트 침전 센서가 갖추어진 컨테이너 내부의 상기 발광부와 수광부 사이에 장착하는 제1단계와;

상기 프로판트 침전 센서의 발광부에 전원을 인가하여 빛이 조사되도록 하고, 상기 발광부에서 조사되어 상기 샘플 홀더를 투과한 후 상기 수광부에서 수신한 빛의 세기를 근거로 하는 수신 데이터를 검출하는 제2단계와;

상기 제2단계를 통해 검출한 수신 데이터를 근거로 하여 상기 프로판트 슬러리의 프로판트의 침전 데이터를 산출하는 제3단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서, 상기 제2단계에서 상기 수광부는 빛의 세기에 따라 저항이 달라지는 것이며, 상기 제3단계는 상기 수광부의 현재 저항 값과 최초 설정된 기준 저항 값을 비교하여 현재 저항 값과 기준 저항 값이 일치되는 시간을 침전시간으로 산출하는 것을 특징으로 하는 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 방법.

청구항 6

청구항 4 또는 청구항 5에 있어서, 제3단계는 다수의 수광부 중에서 이웃하는 2개의 수광부에서 동일한 전압값을 감지하는 시간을 근거로 하여 침전속도를 산출하는 것을 특징으로 하는 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 제3단계는 다수의 수광부 중에서 상기 샘플 홀더가 거치된 상태를 기준으로 하여 상부

와 바닥부에 배치되지 않는 이웃하는 2개의 수광부의 값을 근거로 하여 침전속도를 산출하는 것을 특징으로 하는 셰일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 방법.

청구항 8

청구항 4 또는 청구항 5에 있어서,

상기 제3단계는 하기의 식

$$d_c = \left(\frac{V_s}{V_t} \right)^{0.5} d_p$$

[v_s : 슬러리 침전 속도(실험값)(cm/s), v_t : 중력과 부력 작용을 받은 유체의 일정한 속도(cm/s), d_c : 묻쳐져있는 프로판트의 총체적 직경(cm), d_p : 프로판트 지름 (cm)]

을 통해 무리의 프로판트의 전체 직경을 구하는 것을 특징으로 하는 셰일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 셰일가스 유전에서 가스를 생산하기 위하여 치밀한 암석지층에 투수율을 높이기 위하여 수평으로 드릴링 후 수압파쇄 기술을 이용하여 균열 생성 후 프로판트(모래 알갱이) 슬러리를 이용하여 높은 투수율을 생성하기 위한 것으로, 더욱 상세하게는 균열지역의 닫힘 현상은 지층의 조건, 슬러리의 점도, 중력에 따라 변화하며, 다양한 균열 크기와 다양한 종류의 프로판트 슬러리의 실험을 통해 실제 유전 지역에서 높은 투수율을 유지할 수 있는 이상적인 프로판트 슬러리를 제공할 수 있는 셰일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 개발도상국의 빠른 경제 성장으로 인해 세계 석유 수요는 지속적인 증가가 예상되는 반면, 세계 석유공급은 증가세가 둔화될 것으로 대두되고 있다. 기존 대형 유전에서는 원유 생산 감소세가 가속화되고 있기 때문이다. 그러므로 석유를 대체할 에너지원, 신석유자원에 대한 관심이 높아지고 있다. 이와 더불어 신석유자원들 중 상업화가 가장 빠른 것으로 기대를 모으고 있는 것이 셰일가스이다. 셰일가스개발의 시작은 오래되지 않았으나 신석유자원으로써 셰일가스의 개발 방법은 지속적이고 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 셰일가스전의 셰일층은 매우 치밀한 구조를 가지고 있어 암석공극에 대한 투수율이 거의 존재 하지 않는다.

[0003] 그러므로 치밀한 셰일가스전에 투수율을 증대해야 생산이 가능하고 비로소 경제성을 가진다. 투수율 증대를 위하여 수평방향으로 드릴링 후 수압파쇄로 셰일 암석에 균열 지역을 형성한다. 또한 수압파쇄로 생성된 균열 지역은 저류층 압력에 의하여 본래의 형태로 된다. 그전에 균열 지역에 프로판트(모래 알갱이)를 유체와 섞어 주입한다. 하지만 유체와 프로판트가 섞인 프로판트 슬러리는 주입되어진 상태를 계속 유지하지 못하고 중력, 온도, 압력에 의해 슬러리가 변화되어져 침전이 된다.

[0004] 이러한 문제를 극복하기 위한 방법으로, 수압파쇄를 이용하여 암석에 균열 지역을 형성하고 암석이 닫히기 전에 프로판트 슬러리를 주입하여 투수율을 증대시킨다. 이때 프로판트 슬러리가 침전이 되어 투수율의 감소가 발생한다. 그러므로 다양한 균열 크기와 프로판트의 종류로 침전물을 도출, 이를 통한 최적화된 프로판트 슬러리의 침전 방지 효과를 가져와 셰일가스 생산성 증대를 가져올 수 있다.

[0005] 오일/가스 공에서 오일/가스를 함유하고 있는 지층에서 탄화수소가 생산될 수 없을 때, 지층에서 유체의 흐름 용량을 증가시키기 위해 자극법(stimulation)을 사용한다. 현재, 자극법 중에서 가장 유명한 방법 중의 하나는 유정과 가까운 위치에 있는 지층에 기계적으로 균열을 유도하여 가스/석유를 함유하고 있는 지층에서의 유체흐름의 능력을 증가시키게 디자인 된 수압파쇄법이다.

[0006] 이 과정에서 쐐기(wedge)의 역할을 하는 작은 입자인 프로판트는 수압파쇄 이후에 생성된 균열을 닫치지 않고

계속 열려있는 상태로 만들기 위해 지층의 균열에 주입된다. 프로판트 입자의 침강 속도는 지층 유체의 점성도에 따라 다를 수 있다. 균열 안에서 프로판트의 분포는 수압파쇄의 최종결과를 결정하는데 매우 결정적이며 프로판트의 분포도를 조정할 수 있을 경우 균열 전도도를 결정할 수 있다.

[0007] 수압파쇄 이후에 지층으로 유체의 여과현상(leak-off)이 발생하여 균열안의 압력이 감소한다면, 균열은 다시 닫힐 것이다. 그러나 프로판트를 주입하여 균열을 열린 상태로 유지시킨다면, 유정 안에서 유체의 흐름 능력은 높아질 것이다. 그러나 프로판트가 목표 층인 가스/오일을 함유하고 있는 지층의 외부에 침전되는 경우, 프로판트는 생산성의 증가에 기여하지 않으며, 파쇄의 효율을 높이기 위해 사용된 모든 자금들은 손실 될 것이다. 여기에 균열 안에서 프로판트의 침전과 분포에 관한 연구가 중요한 이유가 있다. 끊임없이 변하는 석유 산업의 연구과정에서 기존에 이루어진 소량의 농도와 낮은 점성도를 갖은 유체로 이루어진 슬러리에 관한 연구는 부족하다.

[0008] 이미 정적인 상태에서의 슬러리 침전에 관해 기여할 수 있는 많은 연구들이 수행되어 졌다. 그러나 대부분의 연구는 자연에서 non-newtonian인 상태에서 중간에서 높은 점착력을 가진 유체에서의 프로판트 침전만을 중심으로 기술하고 있다. 수압파쇄 과정에 사용되는 유체는 변해오고 있으며, 유체의 변화는 수압파쇄의 기능에 의해 변해왔다. 과거 전통적인 수압파쇄에 사용된 수용액은 석유기반의 유체(oil based emulsions)에서 젤 액체(gelled fluid), 교차결합 폴리머(crosslinked polymers)로 바뀌어 왔고, 현재는 낮은 점성도의 매끄러운 물(slick water)로 변하고 있다. 이 매끈한 물에 의한 균열(slickwater-fracs)은 과거의 수용액과는 반대로 매우 낮은 점성도를 가지고 있으며, 낮은 프로판트 농도로 설계 되었다.

[0009] 지금까지 2 lbs/gallon 미만의 유체 프로판트 농도 슬러리(Less than 2 lbs/gallon of fluid)에서의 프로판트는 균집되는 침전 특징을 갖는 것으로 나타나고 있다. 각각의 슬러리 입자는 서로 합쳐지려는 경향을 보이고 합쳐진 입자들은 각각의 입자의 침전 속도보다 빠르다. 침전 속도는 같은 중력(gravitational forces)과 작용 항력(drag-forces acting)이 입자위에 작용할 때의 속도를 나타내며, 침전 속도를 가졌을 때는 가속도가 붙지 않는다.

[0010] 유감스럽게도, 기존의 연구들은 프로판트 농도가 3~4ppg가 최소인 중간에서 높은 점성도를 가진 슬러리에 관해 더욱 집중되었었다.(1ppg는 1 gallon의 유체에 추가된 프로판트 1파운드의 약자) 또한, 과거의 실험 장치들은 계산하는 것이 상대적으로 복잡하며, 설치하는데 많은 시간과 노력을 요구하도록 만들어 졌다. 낮은 농도에서의 침전에 관한 부족한 정보들에 관해 연구한다는 목적과 함께 이글에서 소개하는 발명은 빠르고, 정확하고, 간단한 방법으로 목적을 달성할 수 있도록 고안되었다. 낮은 프로판트 함유 농도(3ppg 아래)의 슬러리 침전을 연구함으로써, 부족한 정보의 격차는 채워질 수 있을 것이며, 그러므로 다양한 수압파쇄 유체에서의 슬러리 침전 속도에 관한 연구는 끝날 수 있을 것이다.

[0011] 참고로 본 발명과 관련된 기술로서, 하기의 특허문헌 1은 내부에 하나 이상의 공극을 갖는 주형 구체 (상기 주형 구체는 약 0.3 이상의 크롬바인(Krumbein) 구형도 및 약0.1 이상의 원형도를 가짐) 및 상기 주형 구체의 전체 외부 표면 주위의 연속 소결 셸 (상기 셸은 세라믹 물질또는 그의 산화물을 포함하고, 상기 주형 구체는 소결을 견딜 수 있는 물질을 포함함)을 포함하는, 약 0.5 이상의 크롬바인 구형도 및 약 0.4 이상의 원형도를 갖는 프로판트에 관한 것이며, 오일 또는 가스의 투과성 향상을 위한 프로판트 조성의 특허이다.

[0012] 특허문헌2는 프로판트와 유체가 담긴 시험 셀, 시험 셀의 일측에 설치되며 상기 시험 셀을 조명하는 광원, 상기 광원의 반대쪽에 설치되며 일측의 수신단이 상기 시험 셀을 통과하여 조사되는 빛을 수신 및 타측의 발광단이 수신된 빛을 반대쪽에 조사하는 광섬유, 상기 광섬유의 발광단에서 조사되는 빛을 촬영하는 CCD 카메라로 구성되며, 프로판트가 침전하면서 발생하는 위치별 농도 차이에 의해 프로판트가 많은 곳은 검정색으로 촬영되고 반대로 프로판트가 없는 곳은 흰색으로 촬영되며, 이러한 색상의 차이를 근거로 하여 프로판트의 농도 특성을 검출하는 것이고, 프로판트의 침전 패턴 등을 확인할 수 있는 것이기는 하지만, 이진발명의 발광부와 광원의 기능이 상이하며, 특허문헌2의 광원은 색상 차이를 확인하기 위한 조명의 기능이고, CCD 카메라에 의해 촬영된 색상을 근거로 하는 것이라는 점에 차이점이 있다.

[0013] 하기의 비특허문헌1은 프로판트와 유체가 담기는 컨테이너, 상기 컨테이너의 벽면에 부착되며 상기 컨테이너 내부에서 침전되는 프로판트에 의한 유체의 압력을 감지하는 압력센서, 압력센서의 값을 근거로 하여 프로판트의 속도를 산출하는 컨트롤러로 구성되고, 프로판트의 속도를 측정하는 것이기는 하지만, 프로판트의 침전 중 발생하는 압력 차이를 근거로 하는 것이기 때문에 미세한 압력변화의 감지가 어려운 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0014] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제2009-0035732호
(특허문헌 0002) 미국특허 US 05272675

비특허문헌

- [0015] (비특허문헌 0001) SPE/DOE 13906 Proppant Settling Velocities in Nonflowing Slurries, by L. L. Kirkby, The Dow Chemical Company, and H. A. Rockefeller, Dowell Schlumberger(1985.03.19)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0016] 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 간단하며 빠르고 정확한 방식으로 다양한 종류의 프로판트 슬러리의 침전 특성을 확인하여 수압파쇄에 의한 인공균열에 최대의 투수공간을 확보하도록 함으로써 생산성을 향상할 수 있는 셰일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시물레이션 장치 및 방법을 제공하려는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0017] 본 발명에 의한 셰일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시물레이션 장치는, 내부에 공간이 형성되며 외부의 빛이 내부에 입사되지 않도록 구성된 컨테이너와; 내부에 유로가 형성되는 투명의 홀더 본체, 상기 홀더 본체의 유로를 개폐하는 마개를 포함하는 샘플 홀더와; 상기 샘플 홀더를 중심으로 하여 양측에 각각 상기 샘플 홀더에 수용된 프로판트 슬러리의 이동 방향을 따라 상호 간에 일정 간격을 두고 배치되어 상기 샘플 홀더에 빛을 조사하는 하나 이상의 발광부 및 상기 샘플 홀더를 투과한 빛을 측정하는 다수의 수광부를 포함하며, 상기 샘플 홀더에 수용된 프로판트 슬러리의 프로판트의 침전을 측정하는 프로판트 침전 센서와; 상기 프로판트 침전 센서의 수광부에서 수신한 값을 근거로 하여 상기 프로판트 슬러리의 프로판트의 침전 시간, 침전 속도, 부유 시간을 포함하는 침전 데이터를 산출하는 컨트롤러를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명에 의한 셰일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시물레이션 장치 및 방법에 의하면, 균열지역의 닫힘 현상은 지층의 조건, 슬러리의 점도, 중력에 따라 변화하며, 다양한 균열 크기와 다양한 종류의 프로판트 슬러리의 실험을 통해 실제 유전 지역에서 높은 투수율을 유지할 수 있는 이상적인 프로판트 슬러리를 제공하여 가스의 생산량을 향상할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명에 의한 셰일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시물레이션 장치의 구성도.

도 2는 본 발명에 의한 셰일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시물레이션 장치에 적용된 컨테이너와 샘플 홀더 및 프로판트 침전 센서를 도시한 정면도.

도 3은 본 발명에 의한 셰일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시물레이션 장치에 적용된 샘플 홀더의 사시도.

도 4와 도 5는 본 발명에 의한 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시물레이션 방법에 의해 침전 시간과 침전 속도를 구하는 보이기 위한 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 도 1에서 보이는 것처럼, 본 발명에 따른 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시물레이션 장치는, 컨테이너(10), 내부에 프로판트 슬러리(프로판트와 유체의 혼합물)가 수용되며 컨테이너(10) 내부에 탑재되는 샘플 홀더(20), 샘플 홀더(20) 내부에 수용된 프로판트 슬러리에 포함된 프로판트의 침전을 감지하는 프로판트 침전 센서(발광부와 수광부), 상기 프로판트 침전 센서에 의해 감지된 데이터를 근거로 하여 프로판트의 침전 데이터(침전 시간, 침전 속도 등)를 산출하는 컨트롤러(30)로 구성된다.
- [0021] 컨테이너(10)는 내부에 샘플 홀더(20)와 상기 프로판트 침전 센서가 장착될 수 있는 크기의 공간이 형성된 케이스로서, 샘플 홀더(20)의 장착 및 교체 그리고, 상기 프로판트 침전 센서의 설치와 유지보수를 위하여 개방부를 갖는 컨테이너 본체 및 상기 컨테이너 본체의 개방부를 개폐하는 도어로 구성되고, 상기 프로판트 침전 센서에 의한 감지 오류를 방지하기 위하여 외부의 빛이 입사되지 않도록 구성(예를 들어 검정색 페인팅, 검정색 시트 부착 등)된다.
- [0022] 컨테이너(10)는 샘플 홀더(20)가 안정적으로 탑재되도록 바닥부에 홈 또는 돌기의 홀더 안착부가 구성될 수도 있다.
- [0023] 도 1 내지 도 3에서 보이는 바와 같이, 샘플 홀더(20)는 내부에 유로(21a)가 형성된 투명의 홀더 본체(21), 홀더 본체(21)의 유로(21a)를 개폐하는 마개(22)로 구성된다.
- [0024] 샘플 홀더(20)는 실제 유전지대를 조성하는 것이며 내부의 유로(21a)는 실제 유전지대에서 수압파쇄를 통해 만들어진 균열을 표현하는 것이다. 즉, 프로판트 슬러리는 유로(21a)에 채워지고 프로판트가 중력에 의해 유로(21a)의 바닥으로 침전된다.
- [0025] 홀더 본체(21)는 다양한 시료의 테스트가 가능하도록 유로(21a)가 마개(22)를 통해 개폐된다.
- [0026] 따라서, 유전지대의 수압파쇄에 의한 균열이 다양한 크기로 형성됨에 따라, 서로 다른 크기의 유로(21a)를 갖는 다양한 샘플 홀더(20)를 제작함으로써 다양한 크기의 균열에서도 프로판트의 테스트가 가능하다. 즉, 샘플 홀더(20)의 유로(21a)의 크기는 실제 필드 상태에서 기대 되는 균열의 폭에 따라 다양하고, 실용적이게는 25cm(높이) X 5cm(길이) X (0.25, 0.5, 0.75, 1)cm(폭)가 가능하다.
- [0027] 홀더 본체(21)는 내부의 유로(21a)의 크기가 중요한 것이며 외형은 본 발명의 테스트와 무관하므로 도면에 도시된 형상으로 한정되지 않고 다양한 디자인으로 이루어진다.
- [0028] 샘플 홀더(20)는 유로(21a)에 프로판트 슬러리가 채워져 컨테이너(10)에 탑재, 상기 프로판트 침전 센서의 발광부와 수광부 사이에 탑재된다.
- [0029] 상기 프로판트 침전 센서는 침전 데이터의 측정을 위하여 상기 발광부와 수광부가 다수개(도면에는 4개를 예로 들어 도시함)로 구성된다. 예를 들어 발광부(40)는 하나만 구성되고 수광부는 다수개가 구성된다.
- [0030] 발광부(40)는 예를 들어 듀얼 CCFL 램프이다. CCFL 램프는 10V AC의 변환장치에 의해 독립적으로 구동된다. 상기 변환장치는 12V DC의 전원에 의해 구동된다. CCLF 램프는 안정된 방출 특성과 가벼운 무게 및 크기를 가지고 있기 때문에 발광부로 유용하다.
- [0031] 제 1 내지 제4수광부(50-1, 50-2, 50-3, 50-4)는 5V DC를 흡입전력으로 사용하여 병렬로 연결된 Light Dependent Resistors(LDR)이다. LDR은 1000ohm pull-down 저항 구성으로 개별적으로 설정되며, 따라서, 빛의 수신량에 따라 서로 다른 저항값을 출력함으로써 프로판트의 침전 데이터를 구할 수 있다.
- [0032] LDR은 빛의 센서로서 작동하며 받는 빛의 양에 의존하여 저항의 변화가 생기는 특성을 갖고 있으며, 즉, 저항 변화에 따라 전압도 변한다. 이것은 프로판트 슬러리 침전의 속도를 측정하는데 사용된다. 샘플 홀더(20)의 유로(21a)안에 있는 프로판트 슬러리는 부분적으로 LDR로 향하는 빛의 경로를 차단한다. 많은 프로판트가 부유해

있는 경우, 더 적은 빛이 샘플 홀더(20)를 통과할 것이다. 샘플 홀더(20) 안의 프로판트를 통과한 빛은 전압 증가의 원인이 되며, 변경사항은 데이터 수집기에 의해 기록된다. 간단히 말하면, LDR이 원래의 저항 값으로 돌아 오는데 걸리는 지속시간은 침전시간으로 정의된다. 특정 조건(예: 균열의 폭, 프로판트의 농도)에서의 프로판트의 침전 시간을 아는 것은 좋은 파쇄-유체의 성능을 알아내기 위한 매개 변수로 사용이 될 것이다.

- [0033] 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4)에 출력되는 값은 데이터 수집기(60)를 통해 수집되어 컨트롤러(30)에 전송될 수 있다.
- [0034] 데이터 수집기(60)는 컴퓨터 등으로부터 안정된 5V DC의 에너지 공급을 받아 구동하며, 계산의 민감도에 따라 다양한 것들의 사용이 가능하고, 예를 들어 12-bit의 사용이 가능하다.
- [0035] 컨트롤러(30)는 데이터 수집기(60)를 통해 입력받은 데이터와 기준 데이터를 저장 및 이 데이터를 근거로 하여 침전 데이터를 산출 및 산출된 침전 데이터(프로판트의 침전 시간, 침전 속도, 부유 시간)를 저장하며, 후술하는 시뮬레이션 방법에서 구체적으로 설명한다.
- [0036] 컨트롤러(30)는 휴대용 노트북, 데스크탑 등을 통해 적용된다.
- [0037] 본 발명에 의한 세일가스 유전의 다양한 인공 균열에서 프로판트의 침전을 확인하기 위한 시뮬레이션 방법은 다음과 같다.
- [0038] 1. 샘플 홀더 준비.
- [0039] 샘플 홀더(20)의 홀더 본체(21) 안의 유로(21a)에 준비한 프로판트 슬러리를 투입한다.
- [0040] 시뮬레이션을 위하여 유로(21a)의 크기, 시료의 특성[프로판트 양(농도), 유체의 종류와 점도 등 특성]을 기록 및 저장한다.
- [0041] 샘플 홀더(20)를 컨테이너(10) 안의 발광부(40)와 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4) 사이에 거치한다. 단, 샘플 홀더(20)를 거치하기 전에 프로판트의 침전 특성에 맞도록 샘플 홀더(20)를 흔들어서 프로판트가 일측(상부)에 모이도록 한 후 샘플 홀더(20)를 거치한다.
- [0042] 2. 침전 데이터 검출.
- [0043] 샘플 홀더(20)를 거치한 후 발광부(40)에 전원을 인가하여 빛이 조사되도록 하고 또는 샘플 홀더(20)를 거치하기 전에 발광부(40)에 전원을 인가하여 빛이 조사되는 상태에서 샘플 홀더(20)를 거치한다.
- [0044] 발광부(40)에서 조사되는 빛은 샘플 홀더(20)를 통과한 후 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4)에 도달한다.
- [0045] 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4)는 수신한 빛의 세기에 따라 다른 저항 값을 출력하고, 이 저항 값은 전압으로 전환된다.
- [0046] 3. 침전 데이터 산출.
- [0047] 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4)가 각각 감지한 출력 값(전압)은 컨트롤러(30)에 입력되고, 컨트롤러(30)는 이 출력 값을 근거로 하여 침전 데이터를 산출한다. 본 발명을 통해서는 침전 시간(Settling Time), 침전 속도(Settling Velocity), 무리 침전(cluster-settling)의 정도의 결과 값을 계산하여 구할 수 있다.
- [0048] 가. 침전 시간(Settling Time).
- [0049] 침전 시간은 프로판트 슬러리의 붕괴 이후 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4)인 LDR 센서가 원래의 저항 값으로 되돌아가는데 필요한 시간을 측정하면서 계산된다.
- [0050] 즉 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4)는 빛의 세기에 따라 저항이 달라지는 것이며, 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4)를 통해 감지된 현재 저항 값(전압)과 최초 설정된 기준 저항 값(전압)을 비교하여 현재 저항 값과 기준 저항 값이 일치되는 시간을 침전시간으로 산출할 수 있다. 모든 프로판트가 침전되면 발광부

(40)에서 조사되는 모든 빛이 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4)에 입사되어 제1 내지 제4수광부(50-1,50-2,50-3,50-4)의 저항 값은 최초 설계시 저항 값과 일치하는 점을 이용한 것이다.

[0051] 나. 침전 속도(Settling Velocity).

[0052] 도 4의 그래프를 통해 알 수 있듯이, 시간대비 전압의 차이를 그래프화하여, 동일한 값에 도달한 두 개의 수광부 바람직하게 중앙에 배치되는 제2,3수광부(50-2,50-3)를 이용하여 필요한 시간을 측정함으로써 침전속도를 계산[제2,3수광부(50-2,50-3) 사이의 거리/제2수광부(50-2)에서 제3수광부(50-3)까지 침전하는데 걸린 시간]할 수 있다. 왜냐하면 제1수광부(50-1)에서 측정하는 값은 샘플 홀더(20)를 흔들어 거치한 직후의 값을 감지하는 것이고 이때는 샘플 홀더(20)를 흔들어서 생기는 힘에 의한 값이기 때문에 신뢰도가 약하고, 제4수광부(50-4)에서 측정하는 값은 샘플 홀더(20)의 바닥부에서 상부로 상승하는 값을 측정하여 신뢰도가 약하기 때문이다.

[0053] 이 계산법은 중앙에 있는 제2,3수광부(50-2,50-3) 사이에서 프로판트의 침전 속도가 일정하다는 전제하에서 가능하다. 그러므로 설치된 제2,3수광부(50-2,50-3)들 사이의 거리는 일정하며, 침전 속도는 위에서 설명한 것처럼 제2,3수광부(50-2,50-3) 사이의 거리를 나누어 획득된 침전속도와 함께 쉽게 구해질 수 있다.

[0054] 이와 같은 방법을 통해 프로판트의 하나의 알갱이의 침전 속도(V_p)와 프로판트 슬러리의 침전 속도(V_s)를 구할 수 있다.

[0055] 다. 무리의 침전 정도(Cluster-Settling Severity).

[0056] 무리의 침전의 정도는 프로판트가 운반 매체인 유체를 통해 떨어지는 동안에 뭉쳐지려는 프로판트의 성향에 따라 결정된다. 프로판트 입자가 무리를 이루면서 떨어지는 프로판트 몸체의 유효 직경은 증가한다. Stokes 방정식에 따라, 침전 속도는 입자의 직경의 증가에 따라 점차적으로 증가할 것이다(하기의 식 1 참고).

[0057] [식 1]

$$V_t = \frac{(\Delta \rho)gd_p^2}{18\mu}$$

[0059] V_t : 중력과 부력 작용을 받은 유체의 일정한 속도(cm/s)

[0060] $\Delta \rho$: 물과 슬러리의 밀도 차

[0061] g : 중력 가속도 (980 cm/s^2)

[0062] d_p : 프로판트 지름 (cm)

[0063] μ : 유체의 점도 (mPa.s)

[0064] 식1은 V_t (터미널 구간의 침전 속도), 한 개의 프로판트 알갱이 침전 속도를 구하는 공식으로서 부력과 중력 작용을 받은 프로판트 알갱이의 일정한 속도 측정이 가능하다.

[0065] 식2-4는 LDR 실험을 통하여 V_s (슬러리 침전 속도)의 실험값을 이용하여 뭉쳐있는 프로판트의 총체적 직경을 구하는 공식으로서 얼마나 크게 프로판트가 뭉쳐있는지를 파악하여 결과를 도출하는데 이용한다. 뭉쳐있는 프로판트의 직경(크기)이 클수록 침전 속도를 가속화 시키므로 실험목적에 벗어난다. 그러므로 이 값을 통하여 슬러리의 유체를 선정한다. 즉 유체의 점도가 클수록 무리의 프로판트 크기가 커지고, 무리의 프로판트의 크기가 클수록 침전 속도가 빨라지므로 프로판트 슬러리에 의한 효과가 떨어질 것이므로 무리의 프로판트의 크기가 작도록 유체를 선정할 수 있다.

[0066] [식 2]

$$\frac{V_s}{V_t} = \frac{\frac{(\Delta \rho)gd_c^2}{18\mu}}{\frac{(\Delta \rho)gd_p^2}{18\mu}}$$

[0067]

[0068] [식 3]

$$\frac{V_s}{V_t} = \left(\frac{d_c}{d_p}\right)^2$$

[0069]

- [0070] [식 4]
- [0071]
$$d_c = \left(\frac{V_s}{V_t} \right)^{0.5} d_p$$
- [0072] v_s : 슬러리 침전 속도(실험값)(cm/s)
- [0073] v_t : 중력과 부력 작용을 받은 유체의 일정한 속도(cm/s)
- [0074] g : 중력 가속도 (980 cm/s^2)
- [0075] d_c : 뭉쳐져있는 프로판트의 총체적 직경 (cm)
- [0076] d_p : 프로판트 지름 (cm)
- [0077] μ : 유체의 점도 (mPa.s)
- [0078] 식 1은 터미널 속도를 구하는 식, 식 2는 식 1과 같은 이론을 이용하여 실험장치를 이용하여 구한 v_s (슬러리 침전 속도)을 이용한 식, 식 3은 식 2를 정리하여 무리에 있는 프로판트의 개수를 구하는 것이며 식 4는 정리한 식 3을 d_c (뭉쳐져 있는 프로판트의 총체적 직경)에 관하여 정리한 식이다.
- [0079]
- [0080] 이 방정식은 유체가 non-Newtonian 속성을 가지고 있을 경우, 사용되는 유체의 종류에 따라 변경 될 수 있다.
- [0081] <실시예>
- [0082] 샘플 홀더(0.5cm의 균열 두께에서 유체(2ppg slickwater)의 측정).
- [0083] 첫째, 슬러리 샘플을 주입할 수 있는 샘플홀더를 선택한다. 이번 실험에서는 0.5cm두께의 유로를 갖는 샘플 홀더(20)를 선택했다.
- [0084] 다음, 폴리머 용액을 유체(slickwater)의 기준에 맞게 혼합하였다. 이 용액은 낮은 점성도, 밀도, 그리고 적은 마찰력을 가진 유체이다. 10pptg(10 lbs/1000 gallon equivalent to 1.2 gr/liter)에서 Alcoflood 254S(폴리머의 종류)는 증류수와 혼합하여 0.5cm의 샘플 홀더(20)의 유로에 주입하였다.
- [0085] 그리고, 프로판트를 선택한다. 원하는 프로판트의 농도에 따라 프로판트의 양이 결정된다. 2ppg는 대략 폴리머 용액의 리터당 240gr이다. 샘플 홀더(20)의 내부 용적을 측정한다; $0.5 \times 25 \times 5 \text{ cm} = 62.5 \text{ cc}$. 그렇다면 필요한 프로판트의 양은 ; $62.5/1000 \times 240 \text{ gr} = 15\text{gr}$ 과 같다. 샘플 홀더에 계산된 양의 프로판트를 주입한 후 넘쳐흐르는 유체를 닦아낸 후 마개로 밀봉한다. 샘플 홀더(20) 안에 기포가 있는지 확인하는 검사가 필요하다.
- [0086] 데이터 수집기를 컨트롤러가 갖추어진 컴퓨터에 연결하여 전원을 켜고, 발광부에 전원을 인가한다. 데이터 수집기로부터 제공되는 소프트웨어를 사용하여, 각각의 수광부에 순차적으로 번호를 정한다.(수광부를 상단에서 하단으로 또는 하단에 상단으로 순차적으로 단순 번호를 매김) 기록을 시작하고 프로판트 슬러리가 샘플 홀더(20) 안에서 균등하게 배포될 때까지 컨테이너를 흔들어준다.
- [0087] 샘플 홀더(20)를 발광부(40)와 수광부(50-1, 50-2, 50-3, 50-4) 사이에 장착한 후 프로판트 슬러리가 가라앉았을 때 기록을 중지한다.
- [0088] 스캐터 도표(scatter-plot)를 이용하여 도표화된 전압은 도 4와 같이 나타난다. 각각의 수광부에서 판독하고 평균값으로 5초가 걸린다. 각각의 데이터의 잡음(noise)을 줄이기 위하여, 각각의 데이터 포인트에서 잡음[각각의 수광부는 같은 종류이지만 오차(데이터 포인트)가 존재하므로 그것을 잡는다는 것이며 오차범위에 대한 기준(평균값 5초)은 항상 일정하지 않고 실험을 통하여 얻은 자료를 도 4와 같이 산출하고 일정 시간 이후 반응이 시작되어지는 Y축 부분의 시작 값을 0초로 필터링하여 도 5와 같이 산출함]의 값을 빼주면서 도표를 정규화킨다. 도 5는 정규화 된 도표의 예이다.
- [0089] 이웃하는 2개의 수광부의 측정 데이터가 같은 값(green box)으로 도달하는 시간을 그래프에서 측정함으로 속도가 구해진다. 이번 수행된 시험에서는 3.2초로 측정됐다. 결과적으로, 속도는 수광부 간의 거리(5cm로 설정)를

침전 시간으로 나누어서 계산할 수 있다: $5\text{cm}/3.2\text{s} = 1.57\text{ cm/s}$.

[0090] <실시예의 결과 분석(Analysis of Results from the Example)>

[0091] 0.5cm 균열에서 2-ppg 슬러워터 프로판트 슬러리의 침전은 방해되는 침전의 특성을 보이며 다음과 같은 정보로 결론이 난다. 스톱스 법칙을 사용하면, 평균 50 US-Mesh 크기를 갖은 입자의 평균 터미널 속도는 1.6170 cm/s 정도이다. 침전이 일어나는 유체의 양은 제한되므로 프로판트가 아래로 이동함에 따라, 아래에 있던 유체는 위쪽으로 이동한다. 프로판트가 유체를 통해 일정하게 떨어지기 전 발생하는 짧은 순간의 난류는 프로판트 움직임의 수직적 지연시간에 기여한다.

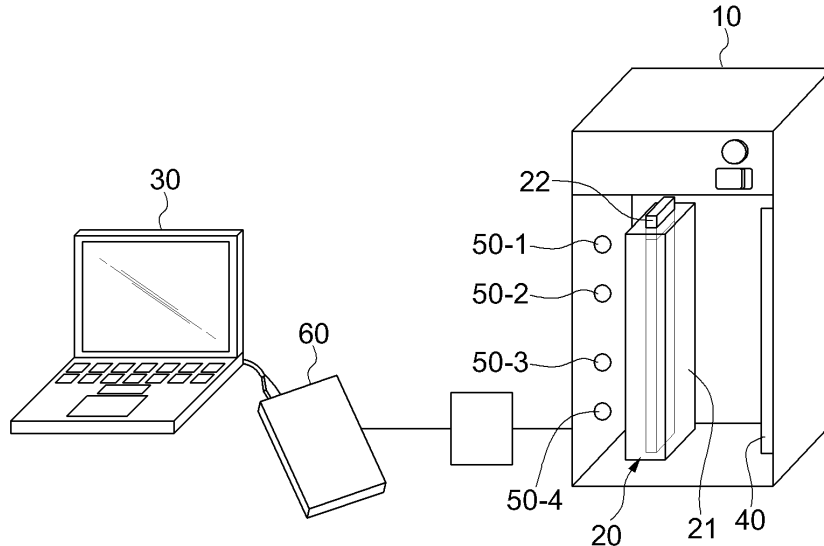
[0092] 결론적으로, 본 발명과 관련 계산 방법을 사용하여, 낮은 프로판 농도의 침전 속도를 정량화, 특성화 시킬 수 있다.

부호의 설명

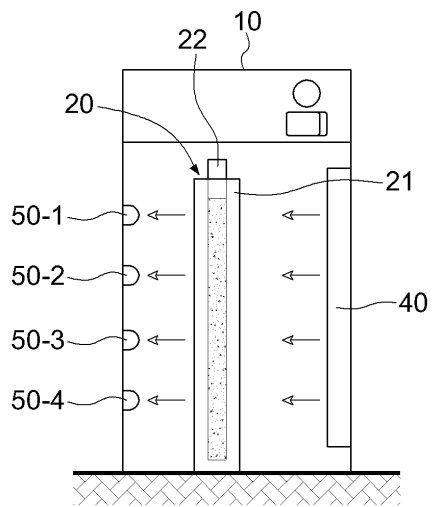
[0093] 10 : 컨테이너, 20 : 샘플 홀더
21 : 홀더 본체, 22 : 마개
30 : 컨트롤러, 40 : 발광부
50-1, 50-2, 50-3, 50-4 : 수광부,
60 : 데이터 수집기,

도면

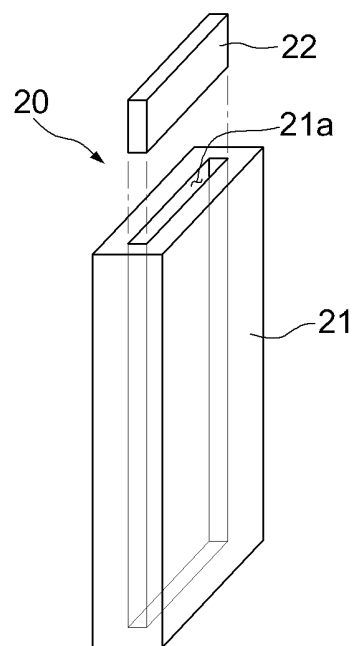
도면1



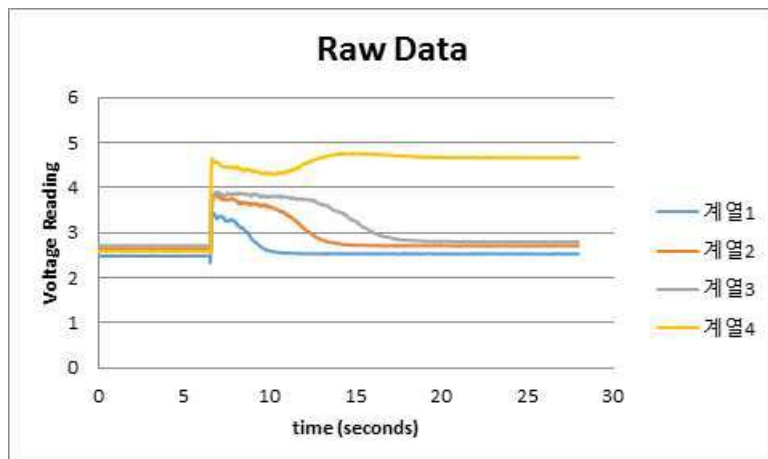
도면2



도면3



도면4



도면5

