



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년11월27일
 (11) 등록번호 10-1800796
 (24) 등록일자 2017년11월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01N 15/08 (2006.01) G01P 15/00 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 G01N 15/0826 (2013.01)
 G01N 15/088 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2016-0103504
 (22) 출원일자 2016년08월16일
 심사청구일자 2016년08월16일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR101307297 B1*
 JP2000009631 A*
 KR101245333 B1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 한국지질자원연구원
 대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동, 한국지질자원연구원)
 (72) 발명자
 송인선
 대전광역시 유성구 한우물로 172-1, 101호 (대정동)
 박권규
 대전광역시 유성구 가정로 43, 106동 1701호 (신성동, 삼성한울아파트)
 (74) 대리인
 김정수

전체 청구항 수 : 총 7 항

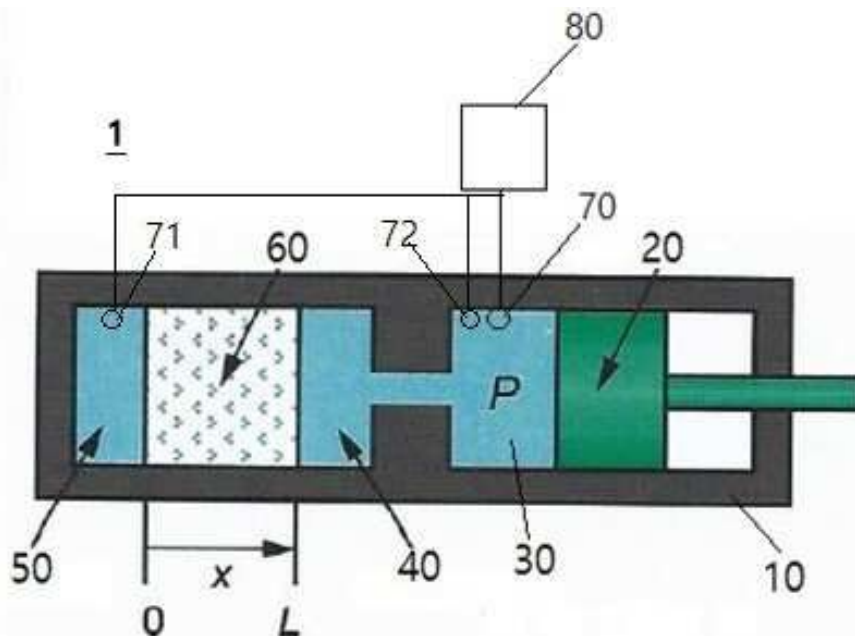
심사관 : 인치현

(54) 발명의 명칭 극저투수율암석의 투수율 측정 장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 1차원 투수율이 상수로 되는 1차원 층류로 가정되는 암석 내에서의 유체의 유동에 대한 공극의 압력 변화의 분석을 위해서 암석 내부의 압력 변화를 나타내는 확산방정식 내의 유체 특성인 투수율(permeability) (k)과 비저류상수(specific storage)(Ss)를 결정할 수 있도록 하는 극저투수율암석의 투수율 측정 장치 및 그 방법 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1



법에 관한 것이다.

상기 극저투수율암석 투수율 측정 장치는, 일 측에는 유동 펌프의 피스톤(20)이 장착되는 헤드(30)가 형성되고 헤드(30)에 연통하여 스트림의 경계에 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)가 형성되며 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)의 사이에 배치되는 암석샘플(60)이 내장되는 실린더(10); 헤드(30)의 내부 압력을 측정하는 상류지 압력센서(70); 하류지 저류조의 압력을 측정하는 하류지 압력센서(71); 상기 상류지 저류조의 유량을 측정하는 유량센서(72); 및 상기 상류지 압력센서(70)와 하류지 압력센서(71) 및 유량센서(72)의 압력 신호 및 유량속도 신호와 헤드(30) 내의 유량속도 정보를 이용하여 확산방정식의 유체특성 정보인 투수율 k 와 비저류물 S_s 를 산출하여 출력하는 제어부(80);를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

G01P 15/001 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711041197

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기후변화대응기술개발

연구과제명 CO2 육상 파일럿 지중저장 실증을 위한 모니터링 기술 개발 및 현장 실증

기여율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2014.06.01 ~ 2017.05.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

일 측에는 유동 펌프의 피스톤(20)이 장착되는 헤드(30)가 형성되고 헤드(30)에 연통하여 스트림의 경계에 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)가 형성되며 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)의 사이에 배치되는 암석샘플(60)이 내장되는 실린더(10);

헤드(30)의 내부 압력을 측정하는 상류지 압력센서(70);

하류지 저류조의 압력을 측정하는 하류지 압력센서(71);

상기 상류지 저류조의 유량을 측정하는 유량센서(72); 및

상기 상류지 압력센서(70)와 하류지 압력센서(71) 및 유량센서(72)의 압력 신호 및 유량속도 신호와 헤드(30) 내의 유량속도 정보를 이용하여 확산방정식의 유체특성 정보인 투수율 k 와 비저류물 S_s 를 산출하여 출력하는 제어부(80);를 포함하고,

상기 제어부(80)는,

암석샘플(60)의 1차원 확산방정식

$$\frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\kappa} \frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = 0$$

를 도출한 후, 상류지 저류조(40)와 하류지 저류조(50) 및 공극압이 평형상태에 있고 0인 $p(x,0) = 0$ $0 \leq x < L$ (여기서, x 는 축 방향, t 는 시간, p 는 공극압, κ 는 확산상수로 $k/\mu S_s$, (S_s 는 specific storage)로 표현된다. 그리고 k 와 μ 는 각각 암석의 투수율과 유체의 점성도 (viscosity), L 는 암석코어 샘플(60)의 길이인 극저투수율)의 초기조건을 설정하고,

상류지 저류조(40)의 압력이 P 가 되도록 펌프를 구동한 후,

$$\frac{\mu S_d}{kA} \frac{\partial p(0,t)}{\partial x} - \frac{\partial p(0,t)}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x = 0$$

$$p(L,t) = P \quad \text{at } x = L$$

인 경계조건과 상기 초기조건을 이용하여 상기 확산방정식으로부터

$\frac{p_d(\tau)}{P} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)} \cos\left(\frac{(2m+1)\pi}{2} \xi\right) \exp\left(\frac{-(2m+1)^2 \pi^2}{4} \tau\right)$ 이고, 여기서, ξ 와 τ 는 각각 무차원 위치(dimensionless position) (x/L)과 무차원 시간(dimensionless time) (kt/L^2), $\bar{\delta} = S_d/(S_s A L) = 0$ 으로 하류지저류조압력식을 도출하도록 구성되는 극저투수율암석의 투수율 측정 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 제어부(80)는,

상류지 저류조(40)의 압력을 P 로 인가하도록 펌프를 제어한 후, $t=0$ 에서 유량센서(72)에 의해 감지된 펌프의 유

량속도 $q_p(0) = 2 \frac{k P A}{\mu L}$, (여기서, $q_p(0)$ 는 상류지 저류조 압력 P 이며 $t=0$ 에서 유량센서(72)에 의해 감지된

펌프의 유량속도(flow rate), L과 A는 각각 샘플의 길이와 단면적, 그리고 k와 μ 는 각각 암석의 투수율과 유체의 점성도(viscosity))를 이용하여 투수율 k를 도출하도록 구성되는 극저투수율암석의 투수율 측정 장치.

청구항 3

청구항 2에 있어서, 상기 제어부(80)는,

일정 시간의 경과 후 일정한 값을 가지는 암석 코어 샘플(60) 내로 주입된 총 유체의 양을 나타내는 $Q_p^\infty = PALS_s$ 에, 유체의 총량이 일정해지는 때의 펌프로부터 측정되는 주입된 유체의 총량을 Q_p^∞ 에 대입하여 비저류 상수 Ss를 도출하도록 구성되는 극저투수율암석의 투수율 측정 장치.

청구항 4

일 측에는 유동 펌프의 피스톤(20)이 장착되는 헤드(30)가 형성되고, 헤드(30)에 연통하여 스트림의 경계에 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)가 형성되며 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)의 사이에 배치되는 암석샘플(60)이 내장되는 실린더(10); 헤드(30)의 내부 압력을 측정하는 상류지 압력센서(70); 하류지 저류조의 압력을 측정하는 하류지 압력센서(71); 상기 상류지 저류조의 유량을 측정하는 유량센서(72); 및 상기 상류지 압력센서(70)와 하류지 압력센서(71) 및 유량센서(72)의 압력 신호 및 유량속도 신호와 헤드(30) 내의 유량속도 정보를 이용하여 확산방정식의 유체특성 정보인 투수율 k와 비저류률 Ss를 산출하여 출력하는 제어부(80);를 포함하는 극저투수율암석의 투수율 측정 장치에 의한 극저투수율암석의 투수율 측정 방법에 있어서, 상기 제어부(80)가,

상기 제어부(80)가 암석샘플(60)의 1차원 확산방정식

$$\frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\kappa} \frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = 0$$

를 도출한 후, 상류지 저류조(40)와 하류지 저류조(50) 및 공극압이 평형상태에 있고 0인 $p(x,0) = 0$ $0 \leq x < L$ (여기서, x는 축 방향, t는 시간, p는 공극압, κ 는 확산상수로 $k/\mu S_s$, (S_s 는 specific storage)로 표현된다. 그리고 k와 μ 는 각각 암석의 투수율과 유체의 점성도(viscosity), L는 암석코어 샘플(60)의 길이인 극저투수율)를 설정하는 것에 의해 실린더(10) 내부의 t=0에서의 초기조건을 설정하는 초기조건설정과정(S10);

상류지 저류조(40)의 압력이 P가 되도록 펌프를 구동한 후,

$$\frac{\mu S_d}{kA} \frac{\partial p(0,t)}{\partial x} - \frac{\partial p(0,t)}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x = 0$$

$$p(L,t) = P \quad \text{at } x = L$$

인 경계조건과 상기 초기조건을 이용하여 상기 확산방정식으로부터

$$\frac{p_d(\tau)}{P} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)} \cos\left(\frac{(2m+1)\pi}{2} \xi\right) \exp\left(-\frac{(2m+1)^2 \pi^2}{4} \tau\right)$$

이고, 여기서, ξ 와 τ 는 각각 무차원 위치(dimensionless position) (x/L)과 무차원 시간(dimensionless time) (kt/L²), $\bar{\delta} = S_d/(S_s A L) = 0$ 으로 하류지저류조(50)의 압력식을 도출하는 하류지저류조압력식도출과정(S20);

상기 암석샘플(60)의 상류지 저류조(40)의 측의 단부에서의 압력구배를 도출하는 압력구배도출과정(S30);

상기 저류조 압력식과 상기 압력구배를 이용하여 유동펌프의 유량속도식을 도출한 후 t=0에서의 경계조건을 적용하여 투수율(k)을 측정하는 투수율도출과정(S40); 및

상기 유량속도식을 t=0에서 암석샘플에 주입되는 유체의 총량이 일정해지는 시간까지 유체의 총량을 나타내는 적분한 결과식을 이용하여 비저류상수(Ss)를 도출하는 비저류상수도출과정(S50);을 포함하여 이루어지는 극저투수율암석의 투수율 측정 방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

청구항 4에 있어서, 상기 압력구배도출과정(S30)은,

암석샘플 내의 압력구배에 대하여, x에 대하여는 압력구배가 일정하지 않은 경우의 Darcy 법칙

$$q_x(x,t) = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} A$$

이고, 여기서, $q_x(x,t)$ 는 x 방향으로의 유량속도이며 위치와 시간에 따른 함수로 도출하고,

x=L에 대하여는,

$$\frac{\partial p(L,t)}{\partial x} = 2 \frac{P}{L} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\delta^2 \phi_m^2 + 1/\delta}{\delta \phi_m^2 + 1 + 1/\delta} \exp\left(-\frac{\kappa \phi_m^2 t}{L^2}\right)$$

로 도출하며, ϕ 는 $\tan \phi = \frac{1}{\delta \phi}$ 의 근인 극저투수율암석의 투수율 측정 방법.

청구항 8

청구항 4에 있어서, 상기 투수율도출과정(S40)은,

$$q_p(0) = 2 \frac{k}{\mu} \frac{PA}{L}$$

t=0에서의 펌프의 최초 유량속도로부터 투수율 k를 도출하고, 여기서, $q_p(0)$ 는 상류저류조 압력 P이며 t=0에서 유량센서(72)에 의해 감지된 유량속도(flow rate), L과 A는 각각 샘플의 길이와 단면적, 그리고 k와 μ 는 각각 암석의 투수율과 유체의 점성도(viscosity)인 극저투수율암석의 투수율 측정 방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서, 상기 비저류상수도출과정(S50)은,

일정 시간의 경과 후 일정한 값을 가지는 암석 코어 샘플(60) 내로 주입된 총 유체의 양을 나타내는 $Q_p^\infty = PAL\bar{S}_s$ 에, 유체의 총량이 일정해지는 때의 펌프로부터 측정되는 주입된 유체의 총량을 Q_p^∞ 에 대입하여 비저류 상수 Ss를 도출하는 과정인 극저투수율암석의 투수율 측정 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 1차원 투수율이 상수로 되는 1차원 층류로 가정되는 암석 내에서의 유체의 유동에 대한 공극의 압력

[0001]

변화의 분석을 위해서 암석 내부의 압력 변화를 나타내는 확산방정식 내의 유체 특성인 투수율(permeability)(k)과 비저류상수(specific storage)(Ss)를 결정할 수 있도록 하는 극저투수율암석의 투수율 측정 장치 및 그 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0002]

배경 기술

[0003]

지질 계통(geologic formation)의 공극 유체 압력은 유체의 주입 또는 생성과 강수(precipitation), 수위의 변동, 동적인 지질작용(geologic process) 및 침전물의 강화(consolidation of sediment) 등의 다양한 자연 환경에 의해 종종 섭동된다. 지질 공극 압력의 갑작스러운 변화는 큰 재앙이 될 수 있다. 공극 압력 예측(pore pressure prediction)은 다양한 지질작용의 모델링, 탄성파의 민감도 및 산사태 원인(landsliding triggering), 심해 드릴링의 안전한 설계, 유체자원의 생산, 지질계통(geologic formation)에서의 위험한 쓰레기의 저장 등의 평가의 기초가 된다.

[0004]

일 예로, 안정된 CO2 지중저장을 위해서는 CO2의 상부이동을 구조적으로 막아주는 극저투수율을 갖는 덮개암이 필요하다. 이 덮개암의 CO2 저지 능력을 평가하기 위해서는 실내 시험을 통하여 암석시편의 투수율과 비저류상수를 측정하여야 한다. 보통 사암과 같은 저류암은 코어홀더에서 정상상태의 유체유동을 인가한 후 Darcy 법칙을 이용하여 유량 속도 $q_x = (k/\mu)(\Delta P/L)A$ 로부터 투수율(k)을 측정한다.

[0005]

여기서, q_x 는 x-축 방향으로의 유량속도(flow rate), ΔP 는 샘플 양 단의 압력차이, L과 A는 각각 샘플의 길

이와 단면적, 그리고 k와 μ 는 각각 암석의 투수율과 유체의 점성도(viscosity)이다.

[0006]

그러나 이 방법은 암석의 투수율이 극히 작을 때에는 적당한 방법이 되지 못한다. 왜냐하면 시험기간이 길고 정확한 유속과 압력차이의 관계를 구하기 어렵기 때문이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007]

따라서 본 발명은 1차원 투수율이 상수로 되는 1차원 층류로 가정되는 등방성 공극 매체 내에서의 유체의 유동에 대한 공극의 압력 변화를 나타내는 확산방정식에서 단일과도 상태만을 이용하여 암석샘플들의 유체 특성인 투수율(permeability) k와 비저류상수(specific storage)(Ss)를 결정할 수 있도록 하는 극저투수율암석의 투수율 측정장치 및 그 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008]

상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 극저투수율암석의 투수율 측정 장치는,

[0009]

일 측에는 유동 펌프의 피스톤(20)이 장착되는 헤드(30)가 형성되고 헤드(30)에 연통하여 스트림의 경계에 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)가 형성되며 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)의 사이에 배치되는 암석샘플(60)이 내장되는 실린더(10);

[0010]

헤드(30)의 내부 압력을 측정하는 상류지 압력센서(70);

[0011]

하류지 저류조의 압력을 측정하는 하류지 압력센서(71);

[0012]

상기 상류지 저류조의 유량을 측정하는 유량센서(72); 및

[0013]

상기 상류지 압력센서(70)와 하류지 압력센서(71) 및 유량센서(72)의 압력 신호 및 유량속도 신호와 헤드(30) 내의 유량속도 정보를 이용하여 확산방정식의 유체특성 정보인 투수율 k와 비저류물 Ss를 산출하여 출력하는 제어부(80);를 포함하여 구성된다.

[0014]

상기 제어부(80)는,

[0015]

상류지 저류조(40)의 압력을 P로 인가하도록 펌프를 제어한 후, t=0에서 유량센서(72)에 의해 감지된 펌프의 유

량속도 $q_p(0) = 2 \frac{k PA}{\mu L}$ 를 이용하여 투수율 k를 도출하도록 구성될 수 있다.

[0016] 여기서, $q_p(0)$ 는 상류지 저류조 압력 P이며 t=0에서 유량센서(72)에 의해 감지된 펌프의 유량속도(flow rate),

L과 A는 각각 샘플의 길이와 단면적, 그리고 k와 μ 는 각각 암석의 투수율과 유체의 점성도(viscosity)이다.

[0017] 상기 제어부(80)는,

[0018] 일정 시간의 경과 후 일정한 값을 가지는 암석 코어 샘플(60) 내로 주입된 총 유체의 양을 나타내는 $Q_p^\infty = PALS_s$ 에, 유체의 총량이 일정해지는 때의 펌프로부터 측정되는 주입된 유체의 총량을 Q_p^∞ 에 대입하여 비저류 상수 S_s 를 도출하도록 구성될 수 있다.

[0019] 상술한 목적을 달성하기 위한 본원 발명의 극저투수율암석의 투수율 측정 방법은, 일 측에는 유동 펌프의 피스톤(20)이 장착되는 헤드(30)가 형성되고 헤드(30)에 연통하여 스트림의 경계에 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)가 형성되며 상류지 저류조(upstream reservoirs)(40)와 하류지 저류조(50)의 사이에 배치되는 암석샘플(60)이 내장되는 실린더(10); 헤드(30)의 내부 압력을 측정하는 상류지 압력센서(70); 하류지 저류조의 압력을 측정하는 하류지 압력센서(71); 상기 상류지 저류조의 유량을 측정하는 유량센서(72); 및 상기 상류지 압력센서(70)와 하류지 압력센서(71) 및 유량센서(72)의 압력 신호 및 유량속도 신호와 헤드(30) 내의 유량속도 정보를 이용하여 확산방정식의 유체특성 정보인 투수율 k와 비저류물 S_s 를 산출하여 출력하는 제어부(80);를 포함하는 극저투수율암석의 투수율 측정 장치에 의한 극저투수율암석의 투수율 측정 방법에 있어서, 상기 제어부(80)가,

[0020] 실린더(10) 내부의 t=0에서의 초기조건을 설정하는 초기조건설정과정(S10);

[0021] 상기 펌프를 제어하여 상류지 저류조(40)의 압력을 P로 인가하여 하류지 저류조(50)의 압력식을 도출하는 하류지저류조압력식도출과정(S20);

[0022] 상기 암석샘플(60)의 상류지 저류조(40)의 측의 단부에서의 압력구배를 도출하는 압력구배도출과정(S30);

[0023] 상기 저류조 압력식과 상기 압력구배를 이용하여 유동펌프의 유량속도식을 도출한 후 t=0에서의 경계조건을 적용하여 투수율(k)을 측정하는 투수율도출과정(S40); 및

[0024] 상기 유량속도식을 t=0에서 암석샘플에 주입되는 유체의 총량이 일정해지는 시간까지 유체의 총량을 나타내는 적분한 결과식을 이용하여 비저류상수(S_s)를 도출하는 비저류상수도출과정(S50);을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0025] 상기 초기조건설정과정(S10)은,

[0026] 암석샘플(60)의 1차원 확산방정식

$$\frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\kappa} \frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = 0$$

[0027] 를 도출한 후,

[0028] 상류지 저류조(40)와 하류지 저류조(50) 및 공극압이 평형상태에 있고 0인

[0029] $p(x,0) = 0 \quad 0 \leq x < L$ 의 초기조건을 설정하는 과정인 것을 특징으로 한다.

[0030] 여기서, x는 축 방향, t는 시간, p는 공극압, κ 는 확산상수로 $\frac{k}{\mu S_s}$ (S_s 는 specific storage)로 표현된

다. 그리고 k와 μ 는 각각 암석의 투수율과 유체의 점성도(viscosity), L는 암석코어 샘플(60)의 길이.

[0031] 상기 하류지저류조압력식도출과정(S20)은,

[0032] 상류지 저류조(40)의 압력이 P가 되도록 펌프를 구동한 후,

[0033]
$$\frac{\mu S_d}{kA} \frac{\partial p(0,t)}{\partial x} - \frac{\partial p(0,t)}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x = 0$$

[0034]
$$p(L,t) = P \quad \text{at } x = L$$

[0035] 인 경계조건 초기조건을 이용하여 상기 확산방정식으로부터'

[0036]
$$\frac{p_d(\tau)}{P} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)} \cos\left(\frac{(2m+1)\pi}{2} \xi\right) \exp\left(\frac{-(2m+1)^2 \pi^2}{4} \tau\right)$$
 인

[0037] 하류지저류조압력식을 도출하는 과정인 것을 특징으로 한다.

[0038] ξ 과 τ 는 각각 무차원 위치(dimensionless position) (x/L)과 무차원 시간(dimensionless time) (kt/L²), $\delta = Sd/(SsAL) = 0$.

[0039] 상기 압력구배도출과정(S30)은,

[0040] 암석샘플 내의 압력구배에 대하여, x에 대하여는 압력구배가 일정하지 않은 경우의 Darcy 법칙

[0041]
$$q_x(x,t) = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} A$$
 으로 도출하고,

[0042] x=L에 대하여는,

[0043]
$$\frac{\partial p(L,t)}{\partial x} = 2 \frac{P}{L} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\delta^2 \phi_m^2 + 1/\delta}{\delta \phi_m^2 + 1 + 1/\delta} \exp\left(\frac{-\kappa \phi_m^2 t}{L^2}\right)$$
 로 도출하는 과정인 것을 특징으로 한다.

[0044] q_x(x,t)는 x 방향으로의 유량속도이며 위치와 시간에 따른 함수.

[0045] 상기 투수율도출과정(S40)은,

[0046] t=0에서의 펌프의 최초 유량속도

[0047]
$$q_p(0) = 2 \frac{k PA}{\mu L}$$
 로부터 투수율 k를 도출하는 과정인 것을 특징으로 한다.

[0048] 여기서, q_p(0)는 상류지 저류조 압력 P이며 t=0에서 유량센서(72)에 의해 감지된 유량속도(flow rate), L과 A는

각각 샘플의 길이와 단면적, 그리고 k와 μ 는 각각 암석의 투수율과 유체의 점성도(viscosity).

[0049] 상기 비저류상수도출과정(S50)은,

[0050] 일정 시간의 경과 후 일정한 값을 가지는 암석 코어 샘플(60) 내로 주입된 총 유체의 양을 나타내는 $Q_p^\infty = PALS_s$ 에, 유체의 총량이 일정해지는 때의 펌프로부터 측정되는 주입된 유체의 총량을 Q_p^∞ 에 대입하여 비저류 상수 S_s를 도출하는 과정인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0051] 상술한 구성의 본 발명의 극저투수율 암석의 투수율 측정 장치 및 그 방법은, 1차원 투수율이 상수로 되는 1차원 층류로 가정되는 등방성 공극 매체 내에서의 유체의 유동에 대한 공극의 압력 변화를 나타내는 확산방정식에서 단일 과도 상태만을 이용하여 암석샘플들의 유체 특성인 투수율(permeability) \bar{k} 와 비저류상수(specific storage) S_s 를 동시에 결정할 수 있도록 하는 것에 의해 등방성 공극 매체 내에서의 유체의 유동에 대한 공극

의 압력 변화를 신속하고 정확하게 측정할 수 있도록 하는 효과를 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [0052] 도 1은 본 발명의 실시예에 따르는 극저투수율 암석의 투수율 측정 장치(1)의 구성도.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따르는 극저투수율 암석의 투수율 측정 방법의 처리과정을 나타내는 순서도.
- 도 3은 초기 유량 속도(flow rate)와 샘플 내로 주입되는 유량의 이론적 곡선을 나타내는 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0053] 하기에서 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0054] 본 발명의 개념에 따른 실시 예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예를 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명은 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 본 명세서에서 단어 "예시적인"은 "예로서, 일례로서, 또는 예증으로서 역할을 한다."라는 것을 의미하기 위해 이용된다. "예시적"으로서 본 명세서에서 설명된 임의의 양태들은 다른 양태들에 비해 반드시 선호되거나 또는 유리하다는 것으로서 해석되어야 하는 것만은 아니다.
- [0055] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0056] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0057] 이하 본 발명의 실시예를 나타내는 첨부 도면을 참조하여 본 발명을 더욱 상세히 설명한다.
- [0058] 도 1은 본 발명의 실시예에 따르는 극저투수율 암석의 투수율 측정 장치(1)의 구성도이다.
- [0059] 도 1과 같이, 극저투수율 암석의 투수율 측정 장치(1)는 일 측에는 유동 펌프(미도시)의 피스톤(20)이 장착되는 헤드(30)가 형성되고 헤드(30)에 연통하여 스트림의 경계에 상류지 저류조(upstream reservoir)(40)와 하류지 저류조(downstream reservoir)(50)가 형성되고, 상류지 저류조(40)와 하류지 저류조(50)의 사이에 배치되는 암석샘플(60)이 내장되는 실린더(10)와, 헤드(30)의 내부 압력을 측정하는 상류지 압력센서(70)와 하류지 압력센서(71)와 유량센서(72) 및 압력센서(70, 71) 및 유량센서(72)들의 측정신호를 수신한 후 확산방정식의 유체특성 정보인 투수율 k 와 비저류률 S_s 를 산출하여 출력하는 제어부(80)를 포함하여 구성된다.
- [0060] 상기 제어부(80)는 펌프를 구동하여 피스톤(20)을 통해 상류지 저류조(40)에 압력 P 를 인가하도록 제어한 후, 헤드(30) 내에서의 시간별 유량속도 $q(t)$, 상류지 저류조(40)의 압력 P 와 암석코어 샘플(60)의 초기조건과 경계조건을 이용하여 확산방정식(diffusion equation)로부터 암석코어 샘플(60)의 투수율 k 와 비저류 상수 S_s 를 도출하는 제어를 수행하도록 구성된다.
- [0061] 도 2는 본 발명의 실시예에 따르는 극저투수율 암석의 투수율 측정 방법의 처리과정을 나타내는 순서도이다.
- [0062] 도 2와 같이, 상기 극저투수율 암석의 투수율 측정 방법은, 제어부(80)가 실린더(10) 내부의 $t=0$ 에서의 초기조건을 설정하는 초기조건설정과정(S10), 상기 펌프를 제어하여 상류지 저류조(40)의 압력을 P 로 인가하여 하류지 저류조(50)의 압력식을 도출하는 하류지저류조압력식도출과정(S20), 상기 암석샘플(60)의 상류지 저류조(40)의 측의 단부에서의 압력구배를 도출하는 압력구배도출과정(S30), 상기 저류조 압력식과 상기 압력구배를 이용하여 유동펌프의 유량속도식을 도출한 후 $t=0$ 에서의 경계조건을 적용하여 투수율(k)을 측정하는 투수율도출과정(S40)

및 상기 유량속도식에 대하여 t=0에서 암석샘플에 주입되는 유체의 총량이 일정해지는 시간까지 유체의 총량을 나타내는 적분한 결과식을 이용하여 비저류상수(Ss)를 도출하는 비저류상수도출과정(S50);을 포함하여 이루어진다.

[0063] 구체적으로, 암석의 코어샘플이 도 1처럼 상류지(upstream) 저류조(40)와 하류지(downstream) 저류조(40)의 사이에 존재하고 봉압(confining pressure)으로 가압하여 공극수가 샘플의 축 방향으로만 흐를 수 있도록 한 다음 상류지 저류조(40)와 하류지 저류조(40)의 압력 차이를 이용하여 공극압의 확산을 일으켰을 때 1차원 확산방정식(diffusion equation)은 [수학식 1]과 같다.

[0064] [수학식 1]

[0065]
$$\frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\kappa} \frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = 0$$

[0066] 여기에서 x는 축 방향, t는 시간, p는 공극압, κ 는 확산상수로 $\frac{k}{\mu S_s}$ (S_s 는 specific storage)로 표현된다. 그리고 k와 μ 는 각각 암석의 투수율과 유체의 점성도(viscosity)이다. 초기조건은 상류지, 하류지 및 공극압이 평형상태에 있고 0이다.

[0067] 이때, 상기 제어부(80)는 초기조건설정과정(S10)을 수행한다. 이 경우의 초기 조건은 상류지 저류조(40)와 하류지 저류조(50) 및 공극압이 평형상태에 있고 0인 조건으로, 다음의 [수학식 2]로 표현된다.

[0068] [수학식 2]

[0069]
$$p(x,0) = 0 \quad 0 \leq x < L$$

[0070] 여기서, L는 암석코어 샘플(60)의 길이이다.

[0071] 다음으로, 상기 제어부(80)는 하류지저류조압력식도출과정(S20)을 수행하여, 펌프를 구동시키는 것에 의해 피스톤(20)을 이용하여 헤드(30)를 통해 상류지 저류조(40)로 압력 P를 인가한다. 상류지 저류조(40)의 압력이 갑자기 P로 올라가면 경계조건은 다음의 [수학식 3]과 [수학식4]로 표시된다.

[0072] [수학식 3]

[0073]
$$\frac{\mu S_d}{kA} \frac{\partial p(0,t)}{\partial x} - \frac{\partial p(0,t)}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x = 0$$

[0074] [수학식 4]

[0075]
$$p(L,t) = P \quad \text{at } x = L$$

[0076] 여기에서 S_d 는 하류지 압축수용력(compressive storage)이다.

[0077] 이 후, 상기 제어부(80)는 상기 초기조건과 경계조건을 이용하여 확산방정식의 해를 다음의 [수학식 5]와 같이 도출한다.

[0078] [수학식 5]

[0079]
$$\frac{p(\xi,\tau)}{P} = 1 - 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\cos(\phi_m \xi) - \delta \phi_m \sin(\phi_m \xi)}{(\delta \phi_m^2 - 2)\cos(\phi_m) - \phi_m(3\delta + 1)\sin(\phi_m)} \exp(-\phi_m^2 \tau)$$

[0080] 여기서, ξ 과 τ 는 각각 무차원 위치(dimensionless position) (x/L)과 무차원 시간(dimensionless time) (kt/L^2)이고, ϕ 는 다음의 [수학식 6]의 근이다.

[0081] [수학식 6]

$$\tan\phi = \frac{1}{\delta\phi}$$

[0082]

[0083] 여기서, $\bar{\delta}$ 는 $Sd/(SsAL)$ 이다. 확산방정식([수학식 1])의 해인 [수학식 6]은 암석코어 샘플(60) 내부에서의 장소와 시간에 따른 공극압의 변화를 보여준다. 하지만 암석의 공극압을 측정할 수 있는 장소는 하류지 저류조($x=0$)와 상류지 저류조($x=L$) 뿐이다. 상류지에서의 수압은 P 로 고정되어 있고, 하류지의 압력은 다음의 [수학식 7]로 표현된다.

[0084] [수학식 7]

$$\frac{p_d(\tau)}{P} = 1 - 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\exp(-\phi_m^2 \tau)}{(\delta\phi_m^2 - 2)\cos(\phi_m) + \phi_m(3\delta + 1)\sin(\phi_m)}$$

[0085]

[0086] 하류지 저류조(50)의 경계조건을 $\bar{\delta}=0$ 으로 하면, 즉 하류지 저류조(50)의 크기를 없애면 [수학식 5]는 다음의 [수학식 8]로 된다.

[0087] [수학식 8]

$$\frac{p_d(\tau)}{P} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)} \cos\left(\frac{(2m+1)\pi}{2}\xi\right) \exp\left(-\frac{(2m+1)^2\pi^2}{4}\tau\right)$$

[0088]

[0089] 이상과 같이, 하류지저류조압력식도출과정(S20)이 종료된 후에, 상기 제어부(80)는 암석샘플(60) 내부의 압력구배를 도출하는 압력구배도출과정(S30)을 수행한다.

[0090] 보통 사암과 같은 저류암은 코어홀더에서 정상상태의 유체유동을 인가한 후 종래기술의 Darcy 법칙을 이용하여 투수율을 측정하나, 압력 구배가 일정하지 않은 경우의 Darcy 법칙은 다음의 [수학식 9]로 표현된다.

[0091] [수학식 9]

$$q_x(x,t) = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} A$$

[0092]

[0093] 여기서 $q_x(x,t)$ 는 x 방향으로의 유량속도이며 위치와 시간에 따른 함수로 표현된다. $x=L$ 에서의 압력 구배는 [수학식 5]를 x 로 미분하여 다음의 [수학식 10]과 같이 도출할 수 있다.

[0094] [수학식 10]

$$\frac{\partial p(L,t)}{\partial x} = 2 \frac{P}{L} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\delta^2\phi_m^2 + 1/\delta}{\delta\phi_m^2 + 1 + 1/\delta} \exp\left(\frac{-\kappa\phi_m^2 t}{L^2}\right)$$

[0095]

[0096] 상술한 바와 같이 압력구배도출과정(S30)이 수행된 후, 제어부(80)는 투수율도출과정(S40)을 수행한다. 이를 위하여 [수학식 10]을 [수학식 9]에 대입하고, $\bar{\delta}=0$ 으로 하여 다음의 [수학식 11]이 도출된다.

[0097] [수학식 11]

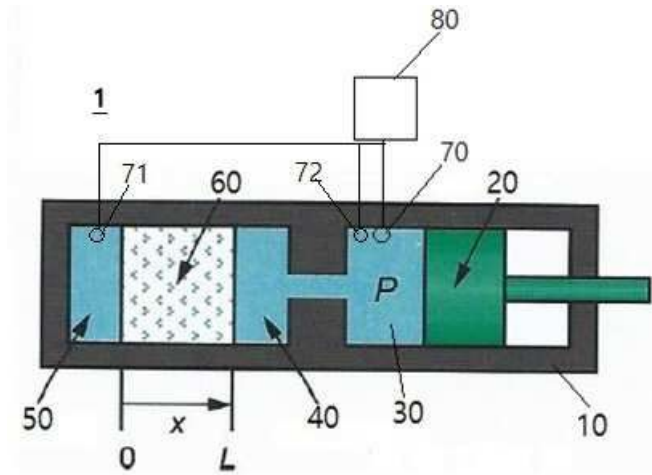
$$q_p(t) = 2 \frac{k}{\mu} \frac{PA}{L} \sum_{m=1}^{\infty} \exp\left(\frac{-(2m+1)^2\pi^2\kappa t}{L^2}\right)$$

[0098]

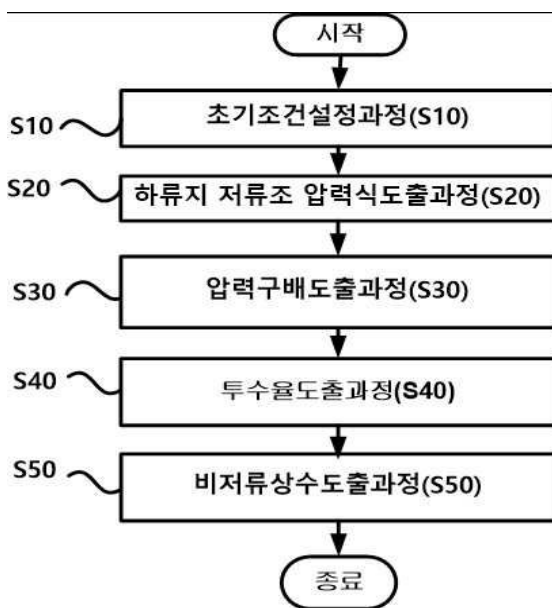
[0099] 여기서, $q_p(t)$ 는 펌프에서 측정된 유량속도이다. 즉 펌프를 이용하여 상류지 저류조(40)의 압력을 P 만큼 올렸을 때 상류지 저류조(40)의 물이 계속해서 암석샘플(60) 안으로 침투하기 때문에 유량의 속도는 즉각 멈추지 않고 계속해서 일어난다. 하지만 처음의 유량속도에 비해 시간이 흐를수록 도 3과 같이 점차 줄어든다. 도 3은 초

도면

도면1



도면2



도면3

