



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0105926
(43) 공개일자 2017년09월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 15/08 (2006.01) G01N 1/28 (2006.01)
G01N 15/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01N 15/088 (2013.01)
G01N 1/286 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0029314
(22) 출원일자 2016년03월11일
심사청구일자 2016년03월11일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
부경대학교)
(72) 발명자
정상용
부산광역시 해운대구 달맞이길 41, 3205호 (중동)
세나파티 벤카트라만
산광역시 남구 용소로19번길 86, C-102호 (대연동, 은솔원룸)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김정수

전체 청구항 수 : 총 13 항

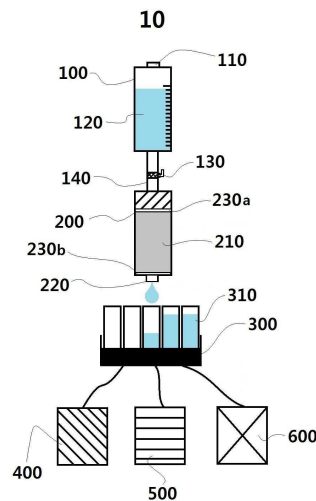
(54) 발명의 명칭 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률 동시 결정 장치 및 이를 이용한 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 결정 방법

(57) 요약

본 발명은, 지하수 개발, 관리 및 보전에 중요한 대수층의 특성자료인 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 1회의 실험으로 동시에 결정할 수 있는 동시 결정 장치를 제공한다.

상기한 동시 결정 장치는, 지하수 개발, 관리 및 보전에 중요한 대수층의 특성자료인 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 동일한 토양 시료를 이용한 1회의 실험으로 간단하게 결정할 수 있어 자료의 정밀성을 확보할 수 있고, 대수층의 특성분석을 위한 비용 및 시간을 획기적으로 절감할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 15/082 (2013.01)

G01N 2015/0023 (2013.01)

(72) 발명자

카키모프 엘리어벵

부산광역시 남구 수영로250번길 76, 202호(대연동,
성산로즈빌

조준열

부산광역시 사하구 낙동대로474번길 13-8 (하단동)

강형빈

부산광역시 부산진구 동평로214번길 19 (부암동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 15AWMP-B066761-03

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 물관리연구사업

연구과제명 대규모 청정지하저수지 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 동아대학교

연구기간 2013.06.15 ~ 2018.06.14

명세서

청구범위

청구항 1

개구부를 통해 공급되는 추적자 시료를 담을 수 있는 수용공간이 내부에 형성되고, 밸브 부재를 구비하여 미리 정해진 속도로 일정 부피의 추적자 시료를 공급하는 시료공급부;

토양 시료를 충전할 수 있는 수용공간이 내부에 형성되고, 상기 시료공급부와 배관 연결되어 상기 시료공급부로부터 공급받은 추적자 시료가 상기 토양 시료를 통과한 후 배출되도록 배출구를 포함하는 컬럼부;

상기 컬럼부의 배출구를 통해 배출되는 추적자 시료를 일정 시간 간격으로 각각 분리 저장하는 복수 개의 저장조를 포함하는 분별채수부;

상기 복수 개의 저장조와 연결되어 토양 시료의 투수계수를 산출하는 투수계수 산출부;

상기 복수 개의 저장조와 연결되어 추적자 시료의 농도 변화를 이용하여 토양 시료의 분산지수를 산출하는 분산지수 산출부; 및

상기 분산지수 산출부에서 산출된 추적자 시료의 농도 변화를 이용하여 토양 시료의 유효공극률을 산출하는 유효공극률 산출부;를 포함하는 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률 동시 결정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시료공급부 및 컬럼부는 투명한 소재로 이루어지고, 상기 시료공급부에 공급된 추적자 시료의 수두 및 상기 컬럼부에 충전된 토양 시료의 길이를 각각 측정할 수 있도록, 상기 시료공급부 및 컬럼부의 외면에는 눈금이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 동시 결정 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 배출구는 내부에 멤브레인이 구비되어 있는 것을 특징으로 하는 동시 결정 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 추적자 시료는 브롬화 나트륨(sodium bromide, NaBr) 또는 브롬화 칼륨(potassium bromide, KBr)을 포함하는 것을 특징으로 하는 동시 결정 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 시료공급부는 상부 일측에 압력공급부가 추가로 구비되어 있는 것을 특징으로 하는 동시 결정 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 투수계수 산출부는,

상기 시료공급부 및 컬럼부의 단면적; 상기 컬럼부에 충전된 토양 시료의 길이; 상기 시료공급부에 공급된 추적자 시료의 초기 수두; 상기 컬럼부에 상기 추적자 시료의 공급을 완료한 후, 상기 시료공급부에 잔류하는 추적자 시료의 최종 수두; 및 상기 추적자 시료가 컬럼부를 통과하는데 소요된 총시간;을 이용하여 상기 토양 시료의 투수계수를 산출하는 것을 특징으로 하는 동시 결정 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 분산지수 산출부는,

상기 복수 개의 저장조와 연결되어, 일정 시간 간격으로 분리 저장된 추적자 시료의 농도 변화를 감지하여 상기 토양 시료의 분산지수를 산출하는 것을 특징으로 하는 동시 결정 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 유효공극률 산출부는,

상기 추적자 시료의 농도 변화를 이용하여 평균유속을 산출하고, 상기 컬럼부의 배출구를 통해 배출된 상기 추적자 시료의 총배출량으로부터 비유출된 추적자 시료의 부피(specific discharge)를 산출한 후, 상기 비유출된 추적자 시료의 부피 및 상기 평균유속을 이용하여 토양 시료의 유효공극률을 산출하는 것을 특징으로 하는 동시 결정 장치.

청구항 9

(a) 토양으로부터 토양 시료를 채집하고, 상기 토양 시료를 컬럼부에 충전하는 단계;

(b) 시료공급부에 저장된 추적자 시료를 미리 설정된 속도로 상기 토양 시료가 충전된 컬럼부에 주입하는 단계;

(c) 상기 컬럼부에 주입된 추적자 시료를 미리 정해진 시간 간격별로 분리하여 회수하는 단계;

(d) 상기 시료공급부 및 컬럼부의 단면적, 상기 컬럼부에 충전된 토양 시료의 길이, 상기 시료공급부에 공급된 추적자 시료의 초기 수두, 상기 컬럼부에 추적자 시료의 공급을 완료한 후, 상기 시료공급부에 잔류하는 추적자 시료의 최종 수두, 상기 추적자 시료가 상기 컬럼부를 통과하는데 소요된 총 시간을 이용하여 상기 토양 시료의 투수계수를 산출하는 단계;

(e) 상기 단계 (c)에서 회수한 추적자 시료의 시간 간격별 농도와 상기 단계 (b)에서 주입된 추적자 시료의 초기 농도를 이용하여 농도 이력곡선을 작성한 후, 미리 설정된 농도비에 해당되는 시간을 구해 상기 토양 시료의 분산지수를 산출하는 단계; 및

(f) 상기 단계 (c)에서 상기 컬럼부에 공급된 시료가 분별채수부에 배수된 총 부피를 배수 총 시간과 컬럼부의 단면적을 고려하여 산출한 비유출(specific discharge)과 상기 단계 (e)에서 산출된 농도비에 해당되는 시간을 적용하여 얻은 상기 토양 시료의 평균유속을 이용하여, 상기 토양 시료의 유효공극률을 산출하는 단계;를 포함하는 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 결정 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 토양 시료는 불교란 시료인 것을 특징으로 하는 결정 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 단계 (a)에서는 타격식 시추 방법을 이용하여 상기 토양 시료를 채집하는 것을 특징으로 하는 결정 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 추적자 시료는 브롬화나트륨(sodium bromide, NaBr) 또는 브롬화 칼륨(potassium bromide, KBr)을 400 내지 600 mg/L의 농도로 포함하는 것을 특징으로 하는 결정 방법.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 단계 (c)에서는, 미리 정해진 시간 간격별로 분리하여 회수된 추적자 시료의 농도를 측정하여 상기 단계 (b)에서 상기 컬럼에 공급된 추적자 시료의 농도와 비교하고, 회수된 추적자 시료의 농도 및 컬럼에 공급된 추적자 시료의 농도차가 1 내지 10% 미만일 경우, 상기 컬럼에 추적자 시료의 공급을 중단하는 것을 특징으로 하는 결정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 동시에 결정할 수 있는 장치 및 이를 이용하여 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 결정하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 지하수는 중요한 음용수(먹는물)공급원으로, 계절의 변화에 의한 수온의 변화가 적고, 질적 변화도 적다. 또한, 지표수가 지하로 침투하여 지하수를 형성하는 과정에서 토양에 의한 자연적인 필터링으로 수질이 양호하며, 인체에 이로운 각종 미네랄 성분이 다량 포함되어 있어 양질의 음용수가 된다. 지표수에 비해 유지 관리 및 개발 비용이 저렴하여 선진국에서는 오래전부터 음용의 목적으로 지하수를 개발해 이용 및 관리하고 있다.

[0003] 일반적으로, 상기한 지하수의 형성에는 지층내 대수층(함수층, Aquifer)의 특성이 중요한 역할을 하며, 대수층은 지층 중에서 투수성을 갖고 물로 포화되어 있고, 상당한 양의 물을 배출할 수 있을 만큼 충분한 투수성과 수리적 연속성을 가지는 지층을 의미한다. 토양 대수층은 매질의 공극이 잘 발달되어 모든 공극 내에 지하수가 비교적 균일하게 부존되어 있으나, 결정질 암반 대수층은 지하수의 부존 및 채수를 위하여 지층내 균열이 잘 발달되어 있어야 한다. 이러한 대수층의 지하수 산출성은 투수계수에 의하여, 지하수 부존성은 유효공극률에 의하여, 그리고 대수층내 오염물질의 확산정도는 분산지수에 의하여 좌우된다.

[0004] 따라서 이러한 투수계수, 유효공극률 및 분산지수는 대수층의 특성을 나타내는 고유인자로서 지하수의 개발, 보전 및 관리를 위하여 매우 중요한 상수이며, 이들의 결정을 위하여 다양한 방법들이 연구되고 있다.

[0005] 일례로, 상기와 같이 대수층의 특성을 분석하기 위해서, 문헌 1의 한국등록특허공보 제10-1523067호에서는, 질소가스를 주입하는 가스 실린더, 질소가스의 압력에 의해 주입된 물을 유출시키는 워터 실린더, 물이 내부로 유동되도록 유동 통로가 형성되어 워터 실린더의 하부에 결합되는 관입 로드와, 관입 로드의 하단에 결합되어 워터 실린더로부터 관입 로드를 통해 투수계수를 측정하고자 하는 지반으로 물이 유출되도록 다수의 환상 슬릿이 적층되어 형성되는 유출봉을 포함하는 토양 투수계수 측정장치에 관한 기술 내용이 제시된 바 있다.

[0006] 또 다른 예로, 상기와 같이 대수층 특성을 분석하기 위해서, 문헌 2의 한국공개특허공보 제10-2006-0132329호에서는, 측정 센서를 이용해 지반을 구성하고 있는 각 매질들의 유전율 상수를 조합하여 상호 반응시킴으로써 포화 상태 또는 불포화 상태의 지반 매질의 공극률 내지 유효공극률을 산출해 내는 유전율 측정 시스템에 관한 기술 내용이 개시된 바 있다.

[0007] 상기한 바와 같은 장치 및 시스템은 지층내 대수층의 특성 자료인 투수계수, 분산지수, 또는 유효공극률 등을 각기 다른 방법을 통해 산출하였다. 하지만, 토양 시료는 자연 상태에서 만들어지므로, 상기 방법을 통해 이용되는 각각의 토양 시료는 절대적으로 동일할 수 없기 때문에, 각각의 분리된 시험에서 산출되는 자료로 취합한 대수층의 특성 자료는 정밀성이 결여될 수밖에 없다는 문제점이 있었으며, 별도로 각각의 특성을 분석해야하기 때문에, 비용 및 시간이 많이 소모되는 등의 단점이 있었다.

[0008] 따라서, 상기한 바와 같은 단점을 보완할 수 있는 방법에 관한 연구가 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1523067호 (공개일 : 2015.05.27)

(특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2006-0132329호 (공개일 : 2006.12.21)

(특허문헌 0003) 공개실용신안 실2000-0013204호 (공개일 : 2000.07.15)

(특허문헌 0004) 한국공개특허 제10-2011-0064914호 (공개일 : 2011.06.15)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 동시에 결정할 수 있는 장치 및 이를 이용하여 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 결정하는 방법에 관한 기술 내용을 제공하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기한 바와 같은 기술적 과제를 달성하기 위해서 본 발명은, 개구부를 통해 공급되는 추적자 시료를 담을 수 있는 수용공간이 내부에 형성되고, 밸브 부재를 구비하여 미리 정해진 속도로 일정 부피의 추적자 시료를 공급하는 시료공급부; 토양 시료를 충전할 수 있는 수용공간이 내부에 형성되고, 상기 시료공급부와 배관 연결되어 상기 시료공급부로부터 공급받은 추적자 시료가 상기 토양 시료를 통과한 후 배출되도록 배출구를 포함하는 컬럼부; 상기 컬럼부의 배출구를 통해 배출되는 추적자 시료를 일정 시간 간격으로 각각 분리 저장하는 복수 개의 저장조를 포함하는 분별채수부; 상기 복수 개의 저장조와 연결되어 토양 시료의 투수계수를 산출하는 투수계수 산출부; 상기 복수 개의 저장조와 연결되어 추적자 시료의 농도 변화를 이용하여 토양 시료의 분산지수를 산출하는 분산지수 산출부; 및 상기 분산지수 산출부에서 산출된 추적자 시료의 농도 변화를 이용하여 토양 시료의 유효공극률을 산출하는 유효공극률 산출부;를 포함하는 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률 동시 결정 장치를 제공한다.

[0012] 또한, 상기 시료공급부 및 컬럼부는 투명한 소재로 이루어지고, 상기 시료공급부에 공급된 추적자 시료의 수두 및 상기 컬럼부에 충전된 토양 시료의 길이를 각각 측정할 수 있도록, 상기 시료공급부 및 컬럼부의 외면에는 눈금이 형성되어 있는 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한, 상기 배출구는 내부에 멤브레인이 구비되어 있는 것을 특징으로 한다.

[0014] 또한, 상기 추적자 시료는 브롬화 나트륨(sodium bromide, NaBr) 또는 브롬화 칼륨(potassium bromide, KBr)을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 또한, 상기 시료공급부는 상부 일측에 압력공급부가 추가로 구비되어 있는 것을 특징으로 한다.

[0016] 또한, 상기 투수계수 산출부는, 상기 시료공급부 및 컬럼부의 단면적; 상기 컬럼부에 충전된 토양 시료의 길이; 상기 시료공급부에 공급된 추적자 시료의 초기 수두; 상기 컬럼부에 상기 추적자 시료의 공급을 완료한 후, 상기 시료공급부에 잔류하는 추적자 시료의 최종 수두; 및 상기 추적자 시료가 컬럼부를 통과하는데 소요된 총 시간;을 이용하여 상기 토양 시료의 투수계수를 산출하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 또한, 상기 분산지수 산출부는, 상기 복수 개의 저장조와 연결되어, 일정 시간 간격으로 분리 저장된 추적자 시료의 농도 변화를 감지하여 상기 토양 시료의 분산지수를 산출하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 또한, 상기 유효공극률 산출부는, 상기 추적자 시료의 농도 변화를 이용하여 평균유속을 산출하고, 상기 컬럼부의 배출구를 통해 배출된 상기 추적자 시료의 총배출량으로부터 비유출된 추적자 시료의 부피(specific discharge)를 산출한 후, 상기 비유출된 추적자 시료의 부피 및 상기 평균유속을 이용하여 토양 시료의 유효공극률을 산출하는 것을 특징으로 한다.

[0019] 또한, 본 발명은, (a) 토양으로부터 토양 시료를 채집하고, 상기 토양 시료를 컬럼부에 충전하는 단계; (b) 시료공급부에 저장된 추적자 시료를 미리 설정된 속도로 상기 토양 시료가 충전된 컬럼부에 주입하는 단계; (c) 상기 컬럼부에 주입된 추적자 시료를 미리 정해진 시간 간격별로 분리하여 회수하는 단계; (d) 상기 시료공급부 및 컬럼부의 단면적, 상기 컬럼부에 충전된 토양 시료의 길이, 상기 시료공급부에 공급된 추적자 시료의 초기 수두, 상기 컬럼부에 추적자 시료의 공급을 완료한 후, 상기 시료공급부에 잔류하는 추적자 시료의 최종 수두, 상기 추적자 시료가 상기 컬럼부를 통과하는데 소요된 총 시간을 이용하여 상기 토양 시료의 투수계수를 산출하

는 단계; (e) 상기 단계 (c)에서 회수한 추적자 시료의 시간 간격별 농도와 상기 단계 (b)에서 주입된 추적자 시료의 초기 농도를 이용하여 농도 이력곡선을 작성한 후, 미리 설정된 농도비에 해당되는 시간을 구해 상기 토양 시료의 분산지수를 산출하는 단계; 및 (f) 상기 단계 (c)에서 상기 컬럼부에 공급된 시료가 분별채수부에 배수된 총 부피를 배수 총 시간과 컬럼부의 단면적을 고려하여 산출한 비유출(specific discharge)과 상기 단계 (e)에서 산출된 농도비에 해당되는 시간을 적용하여 얻은 상기 토양 시료의 평균유속을 이용하여, 상기 토양 시료의 유효공극률을 산출하는 단계;를 포함하는 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 결정 방법을 제공한다.

[0020] 또한, 상기 토양 시료는 불교란 시료인 것을 특징으로 한다.

[0021] 또한, 상기 단계 (a)에서는 타격식 시추 방법을 이용하여 상기 토양 시료를 채집하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 또한, 상기 추적자 시료는 브롬화나트륨(sodium bromide, NaBr) 또는 브롬화 칼륨(potassium bromide, KBr)을 400 내지 600 mg/L의 농도로 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 또한, 상기 단계 (c)에서는, 미리 정해진 시간 간격별로 분리하여 회수된 추적자 시료의 농도를 측정하여 상기 단계 (b)에서 상기 컬럼에 공급된 추적자 시료의 농도와 비교하고, 회수된 추적자 시료의 농도 및 컬럼에 공급된 추적자 시료의 농도차가 1 내지 10% 미만일 경우, 상기 컬럼에 추적자 시료의 공급을 중단하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 따른 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률 동시 결정 장치는, 지하수 개발, 관리 및 보전에 중요한 대수층의 특성자료인 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 동일한 토양 시료를 이용한 1회의 실험으로 간단하게 결정할 수 있어 자료의 정밀성을 확보할 수 있고, 대수층의 특성분석을 위한 비용 및 시간을 획기적으로 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명에 따른 동시 결정 장치를 모식적으로 나타낸 구조도이다.

도 2는 본 발명에 따른 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 결정 방법의 각 단계를 나타낸 공정도이다

도 3은 본 발명에 따른 동시 결정 방법에서, 투수계수를 측정하는 방법을 모식적으로 나타낸 개념도이다.

도 4는 실시 예에 따른 컬럼시험을 위해 사용된 동시 결정 장치의 실제 이미지이다.

도 5는 실시 예에 따른 컬럼시험을 위해 사용된 동시 결정 장치의 (a) 컬럼부 및 (b) 시료주입부의 실제 이미지이다.

도 6은 실시 예에 따른 컬럼시험을 위해 사용된 동시 결정 장치에 구비된 2종의 멤브레인의 실제 이미지이다.

도 7은 실시 예에 따른 컬럼시험을 위해 사용된 동시 결정 장치에 구비된 분별채수기의 실제 이미지이다.

도 8은 실시 예에 따른 방법에 의해 산출된 농도이력곡선이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 본 발명을 상세히 설명하도록 한다.

[0027] 본 발명은 지하수의 개발, 관리 및 보전을 위해 지층내 대수층의 특성을 분석할 수 있도록, 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 동시 결정할 수 있는 장치를 제공한다.

[0028] 상기 지층내 대수층에서 토양 시료의 투수계수는 지하수의 양, 속도 등을 결정하는 데 중요하고, 분산지수는 지하수에 중금속이나 유기오염물질 등이 유입될 경우에 확산되는 정도를 결정하는 데 중요하며, 유효공극률은 지하수의 실제 속도나 지하수의 부존량을 결정하는 데 매우 중요한 자료로 활용이 가능하다.

[0029] 이에 본 발명에서는, 상기한 3 가지의 중요한 자료를 간단한 구성으로 동시에 결정할 수 있는 동시 결정 장치를 제공한다.

[0030] 도 1은 본 발명에 따른 동시 결정 장치(10)를 모식적으로 나타낸 개념도이다.

- [0031] 도 1에 나타난 바와 같이, 본 발명에 따른 동시 결정 장치(10)는, 지층내 대수층의 특성을 분석할 수 있도록, 추적자 시료를 공급하는 시료공급부(100); 토양 시료가 충전된 컬럼부(200); 컬럼부(200)에 공급된 추적자 시료를 분리 저장하는 저장조(310)를 포함하는 분별채수부(300); 토양 시료의 투수계수를 산출할 수 있는 투수계수 산출부(400), 분산지수를 산출할 수 있는 분산지수 산출부(500), 유효공극률을 산출할 수 있는 유효공극률 산출부(600)를 포함한다.
- [0032] 상기 시료공급부(100)는 개구부(110) 및 수용공간(120)이 형성되어 개구부(110)를 통해 공급되는 추적자 시료를 수용공간(120) 내부에 저장할 수 있고, 저장된 추적자 시료를 후술할 컬럼부(200)에 공급할 수 있으며, 밸브 부재(130)를 구비하여 추적자 시료의 공급 속도를 조절하도록 구성할 수 있어, 미리 정해진 속도로 일정 부피의 추적자 시료를 컬럼부(200)에 공급할 수 있다.
- [0033] 본 발명에 따른 동시 결정 장치(10)는, 자연배수(natural drainage)의 원리를 이용하여 상기 시료공급부(100)에서 추적자 용액을 공급하면, 후술할 컬럼부(200)에 토양 시료를 추적자 용액이 통과하여 배출구(220)를 통해 배출되는 방식으로 토양 시료의 특성을 파악할 수 있다.
- [0034] 하지만, 토양 시료는 수밀성 등의 특성이 각기 상이하며, 추적자 시료를 수밀성이 높은 토양 시료에 공급시 추적자 시료의 투수 시간이 증가하여 토양 시료의 투수계수 측정 시간이 증가하는 단점이 있을 수 있다. 이에 따라, 본 발명에서는 상기 시료공급부(100)의 상부일측에 압력공급부(미도시)가 추가로 설치되도록 구성하여 추적자 시료 주입시 압력을 동시에 공급시키도록 구성하여 추적자 시료의 투수 시간을 줄여 상기와 같은 단점을 보완하도록 구성할 수 있다.
- [0035] 상기 추적자 시료는 지층내 대수층의 특성을 분석하기 위해, 토양에 함유되면 분해가 용이하여 지하수로 쉽게 침출될 수 있는 이온을 포함하는 화합물을 이용할 수 있으며, 상기와 같은 이온은 브롬이온을 대표적인 예로 들 수 있다. 이에 따라, 상기 추적자 시료는 상기한 브롬이온을 포함하고, 저분자량이며, 이온으로 쉽게 분해 가능한 다양한 형태의 화합물을 사용할 수 있으며, 상기 추적자 시료로 브롬화나트륨(sodium bromide, NaBr) 또는 브롬화 칼륨(potassium bromide, KBr)을 포함하는 수용액을 대표적인 예로 사용할 수 있다.
- [0036] 상기 컬럼부(200)는 수용공간(210)이 형성되어 토양 시료를 충전할 수 있으며, 상기 시료공급부(100)와 배관(140)과 연결되어 토양 시료가 충전된 상태에서 중력에 의한 자연배수(natural drainage)의 원리로, 상기 시료공급부(100)로부터 공급되는 추적자 시료가 상기 토양 시료로 통과하도록 구성할 수 있으며, 상기 시료공급부(100)로부터 공급받은 추적자 시료가 상기 토양 시료를 통과한 후 배출되도록 배출구(220)를 포함한다.
- [0037] 또한, 상기 컬럼부(200)는, 내부에 멤브레인(230a, 230b)이 구비되어 있고, 상기 토양 시료를 충전하기 전에 컬럼부(200) 하부에 하부 멤브레인(230a)을 설치하고, 토양 시료를 충전한 후, 토양 시료의 상면에 상부 멤브레인(230b)을 설치하여 상기 컬럼부(200) 내부로 이물질의 침입을 방지하고, 균일하게 추적자 용액을 주입할 수 있을 뿐만 아니라, 내부에 충전된 토양 시료의 유실을 방지하도록 구성할 수 있다.
- [0038] 또한, 상기 시료공급부(100) 및 컬럼부(200)는 투명한 소재로 이루어져, 시료공급부(100)에 공급된 추적자 시료와 컬럼부(200)에 공급된 토양 시료를 육안으로 확인할 수 있도록 구성할 수 있으며, 상기 시료공급부(100)에 공급된 추적자 시료의 길이와, 상기 컬럼부(200)에 충전된 토양 시료의 길이를 각각 측정할 수 있도록, 상기 시료공급부(100) 및 컬럼부(200)의 외면에는 눈금을 형성시켜, 추적자 시료 및 토양 시료 각각의 길이와 상기 시료공급부(100) 및 컬럼부(200)의 단면적을 이용해, 추적자 시료 및 토양 시료의 부피 측정이 용이하도록 구성할 수 있다.
- [0039] 상기 분별채수부(300)는, 상기 컬럼부(200)의 배출구(220)를 통해 배출되는 추적자 시료를 일정 시간 간격으로 각각 분리 저장할 수 있도록, 복수 개의 저장조(310)를 포함하고, 상기 저장조(310)에 미리 설정된 시간 동안 일정 부피의 추적자 시료가 공급되면, 인접하는 다른 저장조(310)에 연속적으로 추적자 시료를 분리 저장하도록 구성할 수 있다.
- [0040] 또한, 상기 분별채수부(300)는, 미리 설정된 시간 별로 상기 저장조(310)를 자동 이송시킬 수 있도록, 이송 수단 및 제어부가 구비된 자동 분별채수부(300)를 사용할 수 있다.
- [0041] 상기 투수계수 산출부(400)는 상기 시료 공급부에서 컬럼부(200)로 공급되는 추적자 시료가 일정한 단면적 및 길이를 가지는 토양 시료를 통과함으로써 생기는 수위의 강하와 통과 시간과의 관계를 이용하여 토양 시료의 투수 계수를 산출할 수 있다.
- [0042] 일례로, 상기 투수계수 산출부(400)는 변수위 투수 방정식을 이용하여 투수계수를 산출할 수 있다. 이를 위해,

상기 투수계수 산출부(400)는 상기 시료공급부(100) 및 컬럼부(200)의 단면적, 상기 컬럼부(200)에 충전된 토양 시료의 길이, 상기 시료공급부(100)에 공급된 추적자 시료의 초기 수두, 상기 컬럼부(200)에 상기 추적자 시료의 공급을 완료한 후, 상기 시료공급부(100)에 잔류하는 추적자 시료의 최종 수두 및 상기 추적자 시료가 상기 컬럼부(200)를 통과하는데 소요된 총시간을 이용하여 상기 토양 시료의 투수계수를 산출할 수 있다.

[0043] 상기 분산지수 산출부(500)는 상기 토양 시료를 통과한 추적자 시료의 농도 변화를 감지하여, 상기 토양 시료의 분산지수를 산출할 수 있다. 이를 위해, 상기 분산지수 산출부(500)는 상기 분별채수부(300)의 복수 개의 저장조(310)와 연결되어, 일정 시간 간격으로 분리 저장된 추적자 시료의 농도 변화를 감지할 수 있어, 농도이력 곡선을 생성할 수 있으며, 생성된 농도이력 곡선을 정규분포 곡선에 적합시켜, 후술할 방정식을 이용하여 토양 시료의 분산지수를 산출하도록 구성할 수 있다.

[0044] 상기 유효공극률 산출부(600)는 분별채수부(300)의 복수 개의 저장조(310)에서 얻어진 추적자 시료의 농도이력 곡선을 이용해 토양 시료를 통과하는 추적자 시료의 평균 유속을 산출하고, 상기 시료공급부(100)에서 공급한 추적자 시료의 상기 컬럼부(200)의 배출구(220)를 통해 배출된 총 부피를 단위시간과 컬럼부(200)의 단면적으로 환산한 추적자 시료의 부피(specific discharge)를 산출한 후, 상기 평균유속을 이용하여 토양 시료의 유효공극률을 산출할 수 있다.

[0045] 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률 동시 결정 장치(10)는, 지하수 개발, 관리 및 보전에 중요한 대수층의 특성자료인 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 동일한 토양 시료를 이용한 1회의 실험으로 간단하게 결정할 수 있어 자료의 정밀성을 확보할 수 있고, 대수층의 특성분석을 위한 비용 및 시간을 획기적으로 절감할 수 있다.

[0046] 도 2는 본 발명에 따른 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 결정 방법의 각 단계를 나타낸 공정도이다.

[0047] 도 2에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 따른 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 결정 방법은, 자연배수 하에 진행되며, (a) 토양으로부터 토양 시료를 채집하고, 상기 토양 시료를 컬럼부에 충전하는 단계; (b) 시료공급부에 저장된 추적자 시료를 미리 설정된 속도로 상기 토양 시료가 충전된 컬럼부에 주입하는 단계; (c) 상기 컬럼부에 주입된 추적자 시료를 미리 정해진 시간 간격별로 분리하여 회수하는 단계; (d) 상기 시료공급부 및 컬럼부의 단면적, 상기 컬럼부에 충전된 토양 시료의 길이, 상기 시료공급부에 공급된 추적자 시료의 초기 수두, 상기 컬럼부에 추적자 시료의 공급을 완료한 후, 상기 시료공급부에 잔류하는 추적자 시료의 최종 수두, 상기 추적자 시료가 상기 컬럼부를 통과하는데 소요된 총 시간을 이용하여, 상기 토양 시료의 투수계수를 산출하는 단계; (e) 상기 단계 (c)에서 회수한 추적자 시료의 시간 간격별 농도와 상기 단계 (b)에서 주입된 추적자 시료의 초기 농도를 이용하여 농도 이력곡선을 작성하고, 미리 설정된 농도비에 해당되는 시간을 구한 후, 상기 토양 시료의 분산지수를 산출하는 단계; 및 (f) 상기 단계 (c)에서 상기 컬럼부에 공급된 시료가 분별채수부에 배수된 총 부피를 배수 총 시간과 컬럼부의 단면적을 고려하여 산출한 비유출(specific discharge)과 상기 단계 (e)에서 산출된 농도비에 해당되는 시간을 적용하여 얻은 상기 토양 시료의 평균유속을 이용하여, 상기 토양 시료의 유효공극률을 산출하는 단계를 포함한다.

[0048] 상기 단계 (a)는, 대수층의 특성을 분석하기 위해 토양 시료를 채집하고, 상기 토양 시료를 컬럼부에 충전하는 단계이다.

[0049] 본 단계에서는, 상기 토양 시료로 토질이 자연 상태로 유지되도록 채취한 불교란 상태의 토양 시료(undisturbed sample)를 사용할 수 있으며, 상기한 불교란 토양 시료를 채취하기 위해, 본 단계에서는 타격식 시추 방법 또는 얇은 관 채집 방법(thin wall tube method) 등을 이용하여 상기 불교란 토양 시료를 채집할 수 있다.

[0050] 상기 단계 (b)는, 시료공급부에 저장된 추적자 시료를 미리 설정된 속도로 상기 토양 시료가 충전된 컬럼부에 주입하는 단계이다.

[0051] 본 단계에서는 상기 추적자 시료로, 브롬화나트륨(sodium bromide, NaBr) 또는 브롬화 칼륨(potassium bromide, KBr)을 포함하는 수용액을 사용할 수 있다. 이때, 상기 추적자 시료의 농도는 토양내 지하수의 농도를 감안하여 설정할 수 있으며, 토양내 지하수의 농도에서 추적자 시료에 포함된 브롬이온의 농도가 50배 정도 높은 농도인 것이 바람직하다. 이에 따라, 일반적인 지하수에서 브롬이온의 농도가 10 mg/L 내외인 것을 감안할 때, 상기 추적자 시료에서 브롬화 나트륨은 400 내지 600 mg/L의 농도로 포함하도록 구성할 수 있으며, 대략 500 mg/L의 농도인 것이 바람직하다.

[0052] 상기 단계 (c)에서는, 상기 컬럼부에 주입된 추적자 시료를 미리 정해진 시간 간격별로 분리하여 회수하는 단계로서, 상기과 같이, 미리 정해진 시간 간격별로 컬럼부를 통과하여 유출되는 추적자 시료를 각각 분리 저장하도

록 구성하여, 시간 간격별 추적자 시료의 농도를 산출할 수 있다.

[0053] 상기와 같이 시간 간격별로 산출된 추적자 시료의 농도를 이용하여 농도이력 곡선을 작성하고, 농도이력 곡선을 정규분포 곡선에 적합시켜 후술할 단계에서 토양 시료의 분산지수를 산출할 수 있다.

[0054] 또한, 본 단계에서는, 미리 정해진 시간 간격별로 분리하여 회수된 추적자 시료의 농도를 측정하여 상기 단계 (b)에서 상기 컬럼에 공급된 추적자 시료의 초기 농도와 비교하고, 회수된 추적자 시료의 농도 및 컬럼에 공급된 추적자 시료의 농도차가 1 내지 10% 미만일 경우, 상기 컬럼에 추적자 시료의 공급을 중단하여 토양 시료의 특성분석을 위한 추적자 시료의 공급을 중단하고, 반응을 종결시킬 수 있다.

[0055] 상기 단계 (d)에서는, 상기 시료공급부 및 컬럼부의 단면적, 상기 컬럼부에 충전된 토양 시료의 길이, 상기 단계 (c)에서 시료공급부 및 컬럼부의 단면적, 상기 컬럼부에 충전된 토양 시료의 길이, 상기 시료공급부에 공급된 추적자 시료의 초기 수두, 상기 컬럼부에 추적자 시료의 공급을 완료한 후, 상기 시료공급부에 잔류하는 추적자 시료의 최종 수두, 상기 추적자 시료가 상기 컬럼부를 통과하는데 소요된 총 시간을 이용하여 상기 토양 시료의 투수계수를 산출하는 단계이다.

[0056] 본 단계에서는 상기한 바와 같이, 투수계수를 산출할 수 있도록, 하기에 나타낸 Darcy 법칙을 이용한 변수두 투수계수 측정 공식인 수학식 1을 이용하여 투수계수(K)를 산출할 수 있다(도 3 참조).

[0057] [수학식 1]

$$K = \frac{A_2 \cdot L}{A_1 \cdot t} \ln\left(\frac{h_0}{h_t}\right)$$

[0058]

[0059] 여기서 A_1 은 시료공급부의 단면적, A_2 는 컬럼부의 단면적, L 은 토양 시료의 길이, t 는 총 경과 시간, h_0 는 추적자 시료의 초기 수두, h_t 는 시험이 끝났을 때의 수두를 의미한다.

[0060] 상기 단계 (e)에서는, 상기 단계 (c)에서 회수한 추적자 시료의 시간 간격별 농도와 상기 단계 (b)에서 주입된 추적자 시료의 초기 농도를 이용하여 농도 이력곡선을 작성한 후, 미리 설정된 농도비에 해당되는 시간을 구해 상기 토양 시료의 분산지수를 산출할 수 있다.

[0061] 일례로, 회수한 추적자 시료의 시간 간격별 농도와 주입된 추적자 시료의 초기 농도를 이용하여 농도 이력곡선을 작성하여 농도이력곡선을 정규분포 곡선에 적합시키고, 적합된 곡선에서 추적자 시료의 농도비가 16%, 50%, 84%에 해당되는 각각의 시간을 구한 후, 상기 토양 시료의 분산지수를 산출할 수 있다. 따라서, 적합된 곡선에서 시간별 추적자 시료의 농도를 하기에 나타낸 바와 같이, $t(t_{0.16}, t_{0.5}, t_{0.84})$ 로 각각 설정하여 산출할 수 있다.

[0062] 분산지수 산출은 1차원의 비반응성 이류-확산 방정식(1-D Non-Reactive Advection-Dispersion Equation)에서 도출되는 하기의 수학식 2 내지 4를 이용하여 산출할 수 있다. 참고로, 상기한 산출과정 중에, 분자확산 계수(Molecular Diffusion Coefficient)는 역학적인 분산(Mechanical Dispersion)에 비하여 매우 적기 때문에 무시할 수 있다.

[0063] [수학식 2]

$$\bar{v} = \frac{L}{t_{0.5}}$$

[0064]

[0065] [수학식 3]

$$D_l = \frac{\bar{v}^2}{8t}(t_{0.84} - t_{0.16})^2$$

[0066]

[0067] [수학식 4]

$$\alpha_l = \frac{D_l}{\bar{v}}$$

[0068]

[0069] 여기서 $t_{0.5}, t_{0.16}, t_{0.84}$ 는 $C(t)/C_0$ 의 비가 각각 0.16, 0.5, 0.84일 때의 시간을 뜻한다. D_l 은 종분산계수, L 은

시료의 길이, $\bar{v}$ 는 지하수의 평균 유속, α_l 은 종분산지수이다.

[0070] 참고로, 상기 분산지수 산출 방정식을 하기에 나타낸 바와 같이 설명할 수 있다. 균질한 다공성 매질에서 용질이 비반응성인 경우에 1 차원 이류-확산 방정식(1-D advection-dispersion equation)은 하기 수학적 식 5에 나타낸 바와 같다.

[0071] [수학적 식 5]

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_l \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} - \bar{v}_l \frac{\partial C}{\partial l}$$

[0073] 여기서 C는 추적자 시료의 농도, t는 시간, 본 연구에서 수행된 실내주상시험의 초기 및 경계조건하에서, 상기 수학적 식 5에 대한 해석학적인 해는 아래와 같다.

[0074] [수학적 식 6]

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{L - \bar{v}_l t}{2 \sqrt{D_l t}} \right) + \exp \left(\frac{\bar{v}_l L}{D_l} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{L + \bar{v}_l t}{2 \sqrt{D_l t}} \right) \right]$$

[0076] 상기 수학적 식 6에서, erfc는 보상오차함수(complementary error function)이며, 토양 시료와 같은, 다공성매질에서 용질이송은 역학적 분산(mechanical dispersion)과 유효분자확산(effective molecular diffusion)에 의해 지배되기 때문에, 종분산계수(longitudinal dispersion coefficient)는 하기의 수학적 식 7과 같이 표시할 수 있다.

[0077] [수학적 식 7]

$$D_l = \alpha_l \bar{v}_l + D^*$$

[0079] 또한, 오염물질의 유동속도가 매우 작을때는 분자확산이 우세하여 분자확산 계수가 종분산계수를 대표한다, 즉, $D_l = D^*$. 그러나 오염물질의 유동속도가 클 경우에는 역학적 확산이 우세하여 역학적 확산계수가 종분산계수를 대표하며, 하기 수학적 식 8과 같이 나타낼 수 있다.

[0080] [수학적 식 8]

$$D_l = \alpha_l \bar{v}_l$$

[0082] 상기 수학적 식 6의 우측 2번째 항에서 일반적으로 보상오차함수의 값은 0에 수렴하게 되어, 1차원의 이류-확산 방정식은 하기 수학적 식 9와 같이 나타낼 수 있다.

[0083] [수학적 식 9]

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{L - \bar{v}_l t}{2 \sqrt{D_l t}} \right)$$

[0085] 상기 상기 수학적 식 9에서, erfc는 보상오차함수로서 하기 수학적 식 10 및 11과 같이 표현할 수 있다.

[0086] [수학적 식 10]

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$$

[0088] [수학적 식 11]

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

[0090] 또한, 상대 농도변화 (C/C_0)를 나타내는 농도 이력곡선(BT 곡선)에 있어서 농도분포는 하기 수학적 식 12로 나타낼

수 있다.

[수학식 12]

$$P(-\infty, x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

상기 수학식 12에서 $P(-\infty, x)$ 는 BT곡선에서 거리 $-\infty$ 에서 거리 x 지점까지의 확률을 뜻한다. 정규분포 곡선에 있어서 거리에 따른 확률분포는 하기 수학식 13과 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 13]

$$P(-\infty, x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

상기 수학식 13에서 $\mu = 0$, $\sigma = 1$ (즉, 표준정규분포곡선) 이라면 상기 수학식 12와 같이 표현할 수 있으며, 종분산계수는 하기 수학식 14와 같은 방정식으로 산출할 수 있다.

[수학식 14]

$$D_l = \frac{\sigma_x^2}{2t}$$

여기서 σ_x^2 는 추적자 이동거리의 분산(variance), t 는 추적자가 거리 x 에 도달하는데 걸린 시간, D_l 은 종분산 계수이다. 상기 수학식 14를 유체의 속도를 이용해 나타내면 하기 수학식 15와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

[수학식 15]

$$D_l = \frac{\sigma_x^2 v_l}{2x}$$

정규분포곡선에서 하기 수학식 16를 상기 수학식 14 및 상기 수학식 15에 대입하면, 하기 수학식 17 및 하기 수학식 18로 나타낼 수 있다.

[수학식 16]

$$\sigma_x = \frac{1}{2}(X_{0.84} - X_{0.16})$$

[수학식 17]

$$D_l = \frac{1}{8t}(X_{0.84} - X_{0.16})^2$$

[수학식 18]

$$D_l = \frac{v}{8x}(X_{0.84} - X_{0.16})^2$$

상기 수학식 17 및 18에서, $X_{0.84}$ 및 $X_{0.16}$ 은 각각 상대농도(C/C_0)가 0.84와 0.16이 되는 곳의 거리 X 를 뜻한다. 유체의 유속이 비교적 크고 분자확산이 무시되면, 종분산계수는 하기 수학식 19와 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 19]

$$D_l = \alpha_l v_l$$

따라서, 종분산지수(longitudinal dispersivity)는 수학식 20에 나타낸 바와 같이 나타낼 수 있다.

[0113] [수학식 20]

$$\alpha_l = \frac{D_l}{v_l}$$

[0114]

[0115] 일반적으로, 점 오염원에(point source)에 의한 2차원의 연속적인 오염운(plume) 중앙의 임의 지점에서의 BT 곡선은 상대농도에 대한 시간의 함수로서 표현될 수 있는 것으로 알려져 있다. 이때, 상대농도(C/C_0)는 최대농도에 대한 임의 시간에서의 비율을 의미한다. 상기한 최대 농도는 항상 초기농도보다 작다. 최대 농도에 대한 상대농도($C/C_{\max}$)의 BT 곡선 역시 정규분포를 이룬다. 따라서, 하기 수학식 20과 같이 나타낼 수 있다.

[0116] [수학식 20]

$$\sigma_t = \frac{1}{2}(t_{0.84} - t_{0.16})$$

[0117]

[0118] 상기 수학식 20에서, $t_{0.84}$, $t_{0.16}$ 은 $C/C_{\max}$ 가 0.84와 0.16일때의 시간을 뜻한다. 상기 수학식 20에 나타낸 바와 같은 방정식을 상기 수학식 14에 대입하면, 하기 수학식 21과 같이 나타낼 수 있다.

[0119] [수학식 21]

$$D_l = \frac{\overline{v_l^2}}{8t}(t_{0.84} - t_{0.16})^2$$

[0120]

[0121] 따라서, 종분산지수는 하기 수학식 22를 이용하여 산출할 수 있다.

[0122] [수학식 22]

$$\alpha_l = \frac{D_l}{v_l}$$

[0123]

[0124] 상기 단계(f)는 상기 단계 (c)에서 상기 컬럼부에 공급된 시료가 분별채수부에 배수된 총 부피를 배수 총 시간과 컬럼부의 단면적을 고려하여 산출한 비유출(specific discharge)과 상기 단계 (e)에서 산출된 농도비에 해당되는 시간을 적용하여 얻은 상기 토양 시료의 평균유속을 이용하여, 상기 토양 시료의 유효공극률을 산출하는 단계로서, 하기에 나타낸 바와 같이 유효공극률을 산출할 수 있다.

[0125] 먼저, 상기 단계에서 얻은 농도이력 곡선으로부터 지하수의 평균유속을 산출하고, 추적자 용액의 총 주입량으로부터 비유출된 추적자 용액의 부피를 하기 수학식 23으로 산출한다.

[0126] [수학식 23]

$$q = \frac{Q}{A_1 \cdot t}$$

[0127]

[0128] 상기과 같이 하여 산출된 추적자 용액의 비유출과 평균유속을 이용하여 하기 수학식 24에 나타낸 바와 같은 유효공극률 산출식으로 유효공극률을 산출할 수 있다.

[0129] [수학식 24]

$$n_e = \frac{q}{v}$$

[0130]

[0131] 상기 수학식 23 및 24에서, 여기서 Q는 추적자 시료의 총량, q는 지하수의 비유출, A_1 는 토양 시료의 단면적, t

는 총 배수시간, v 는 지하수의 평균 유속, n_e 는 토양 시료의 유효공극률을 의미한다.

[0132] 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 동시 결정 장치를 이용한 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 결정 방법에 따르면, 지하수 개발, 관리 및 보전에 중요한 대수층의 특성자료인 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 한번의 실험으로 간단하게 결정할 수 있어, 비용과 시간을 많이 절약할 수 있으며, 특히, 동일한 토양 시료에 대하여 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 산출이 동시에 이루어지므로 대수층 특성자료의 정밀성을 크게 향상시킬 수 있다.

[0133] 이하, 본 발명을 실시 예를 들어 더욱 상세히 설명하도록 한다.

[0134] 제시된 실시 예는 본 발명의 구체적인 예시일 뿐이며, 본 발명의 범위를 제한하기 위한 것은 아니다.

[0135] <실시 예>

[0136] 부산지역에서 채취된 토양 시료에 대하여 투수계수, 분산지수 및 유효공극률을 동시에 결정하기 위한 실내 컬럼 시험을 실시하였다. 실내 컬럼시험은 다음과 같이 수행하였다. 상기 실내 컬럼시험은 도 4에 나타난 바와 같은 동시 결정 장치를 제조하여 컬럼시험에 이용하였다.

[0137] 도 4에 나타난 바와 같은 동시 결정 장치는, 도 5 (a)에 나타난 바와 같은 컬럼부, 도 5 (b)에 나타난 바와 같은 시료주입부, 도 6에 나타난 바와 같은 2종의 멤브레인과, 도 7에 나타난 바와 같은 분별채수기를 이용하여 구성하였다.

[0138] 또한, 컬럼시험은 추적자 시료로 브롬화나트륨(NaBr)을 이용하였으며, 총 1,740초(29분) 동안 추적자 시험을 하여 도 8의 농도이력곡선을 작성하였으며, 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 산출을 위한 자료는 하기 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1

시료	시료길이 (L : cm)	시료 단면적 (A ₁ : cm ²)	용액 단면적 (A ₂ : cm ²)	시험 시작전 수두 (h ₀ : cm)	시험 종료후 수두 (h _t : cm)	시험 경과 시간 (t : sec)
부산 1	39.6	22.9	30.2	47.1	32.4	1,740

[0139]

[0140] 상기에 나타난 수학적 식 1을 이용하여 하기에 나타난 바와 같은 투수계수를 산출하였다.

$$K = \frac{A_2 \cdot L}{A_1 \cdot t} \ln\left(\frac{h_0}{h_t}\right) = \frac{30.2 \cdot 39.6}{22.9 \cdot 1740} \ln\left(\frac{47.1}{32.4}\right) = 0.011 \text{ cm/sec} = 9.5 \text{ m/day}$$

[0141]

[0142] 또한, 도 8에 나타난 바와 같은 농도이력 곡선으로 얻어진 자료를 하기의 표 2에 나타내었다.

표 2

시료	t _{0.16} (초)	t _{0.5} (초)	t _{0.84} (초)
부산 1	613.3	1,013.3	1,346.7

[0143]

[0144] 상기에 나타난 바와 같은 수학적 식 2 내지 4 및 상기 농도이력곡선으로 평균유속 및 확산계수를 하기에 나타난 바와 같이 산출하였으며, 이를 이용해 분산지수를 산출하였다.

$$\bar{v}_l = \frac{L}{t_{0.5}} = \frac{39.6}{1013.3} = 0.039 \text{ cm/sec}$$

[0145]

$$D_l = \frac{\bar{v}_l^2}{8t} (t_{0.84} - t_{0.16})^2 = \frac{0.039^2}{8 \cdot 1740} (1346.7 - 613.3)^2 = 0.059 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

[0146]

$$\alpha_l = \frac{D_l}{v_l} = \frac{0.059}{0.039} = 1.5 \text{ cm}$$

또한, 하기 표 3에 나타난 바와 같은 유효공극률 산출을 위해 필요한 자료를 얻었다.

표 3

시료	유출량 (Q: cm ³)	시료 단면적 (A ₁ : cm ²)	시험 경과 시간 (t sec)
부산 1	363	22.9	1,740

상기 표 3의 자료와 상기 수학적 식 21 및 22를 이용하여 아래에 나타난 바와 같이, 유효공극률을 산출하였다.

$$q = \frac{Q}{A_1 \cdot t} = \frac{363}{22.9 \cdot 1740} = 0.0091 \text{ cm/sec}$$

$$n_e = \frac{q}{v_l} = \frac{0.0091}{0.039} = 0.233 = 23.3\%$$

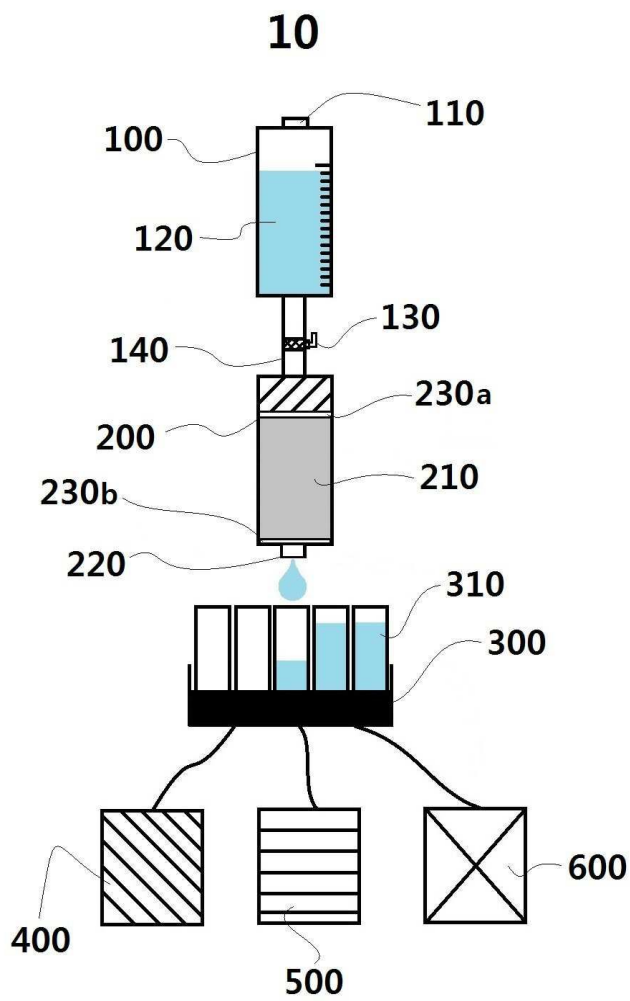
이에 따라, 본 발명에 따른 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률 동시 결정 장치를 이용하면, 토양의 투수계수, 분산지수 및 유효공극률의 대수층 특성이 일회의 간단한 시험으로 정밀하게 동시에 결정될 수 있음을 확인할 수 있었다.

부호의 설명

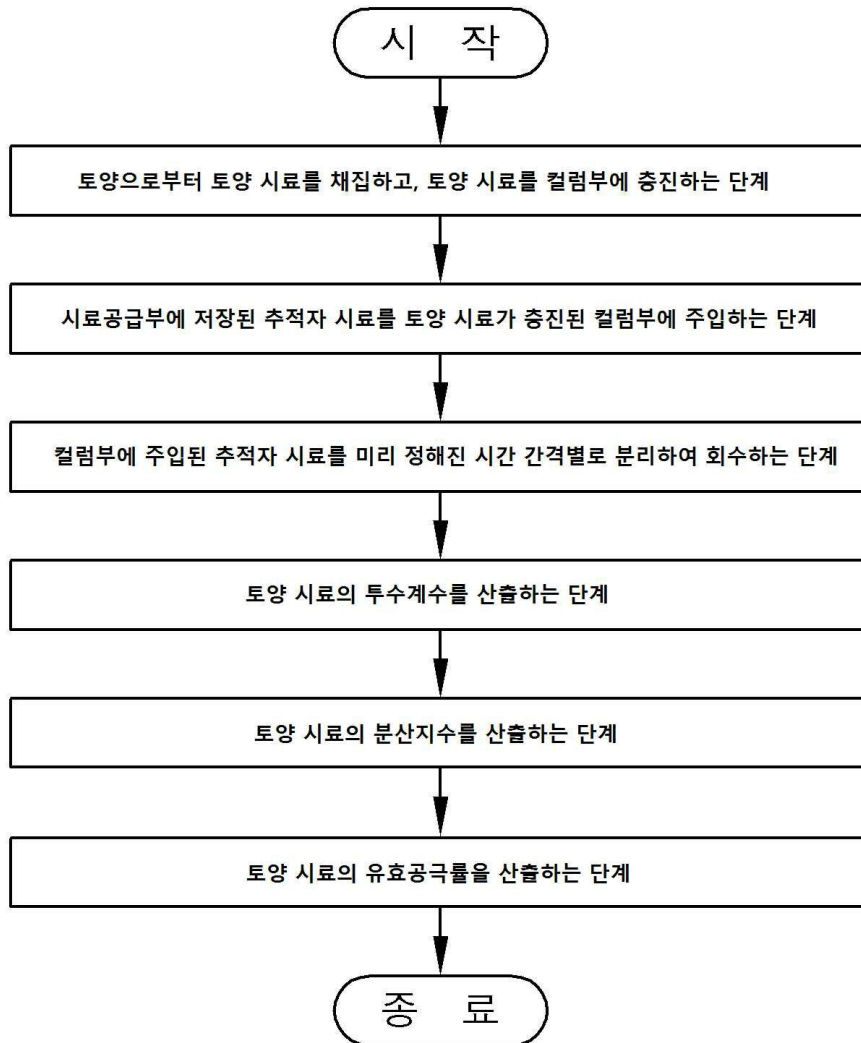
10 : 동시 결정 장치 100 : 시료공급부
 110 : 개구부 120 : 수용공간
 130 : 밸브 부재 140 : 배관
 200 : 컬럼부 210 : 수용공간
 220 : 배출구 300 : 분별채수부
 310 : 저장조 400 : 투수계수 산출부
 500 : 분산지수 산출부 600 : 유효공극률 산출부

도면

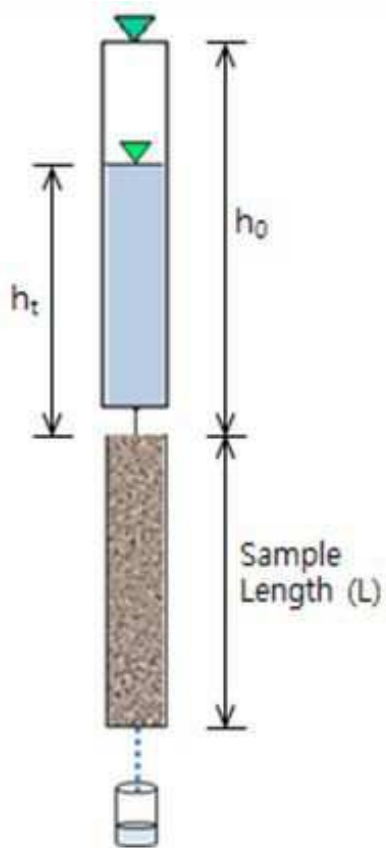
도면1



도면2



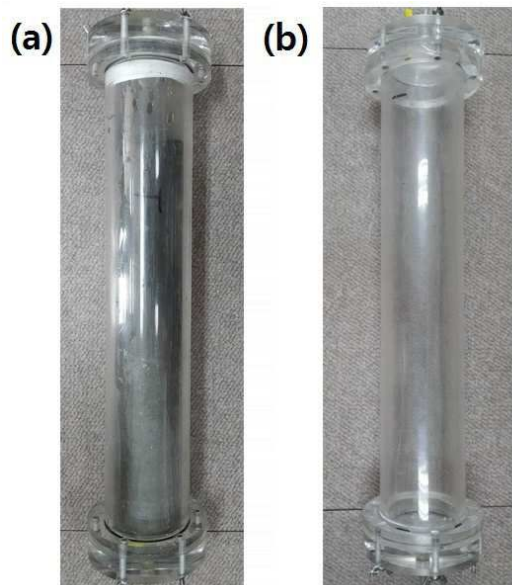
도면3



도면4



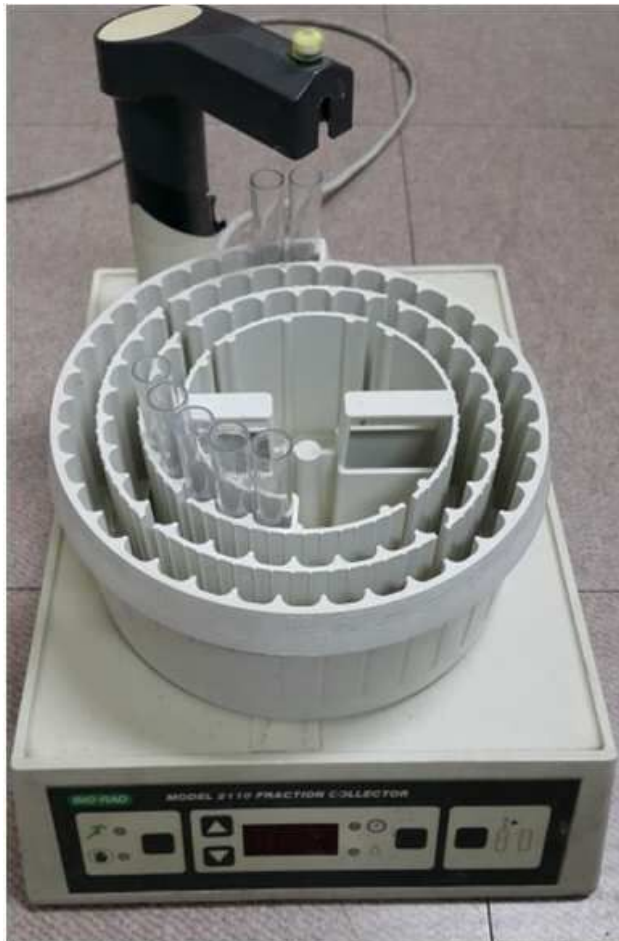
도면5



도면6



도면7



도면8

