



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년12월09일
(11) 등록번호 10-1684921
(24) 등록일자 2016년12월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F17C 5/02 (2006.01) F17C 1/00 (2006.01)
F17C 13/02 (2006.01) GO1K 1/02 (2006.01)
GO1L 19/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F17C 5/02 (2013.01)
F17C 1/007 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0036631
(22) 출원일자 2016년03월28일
심사청구일자 2016년03월28일
(56) 선행기술조사문헌
JP05247920 A*
KR101368197 B1*
KR1020120058181 A*
KR1020090008844 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국지질자원연구원
대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)
(72) 발명자
김구영
대전시 유성구 노은로 353, 303동 607호 (하기동, 송림마을3단지아파트)
오준호
대전시 서구 둔산북로 215, 15동 906호 (둔산동, 가람아파트)
김정찬
대전시 유성구 가정로 306-6, 8동 204호 (도룡동, 대덕연구단지타운하우스)
(74) 대리인
특허법인 대아

전체 청구항 수 : 총 18 항

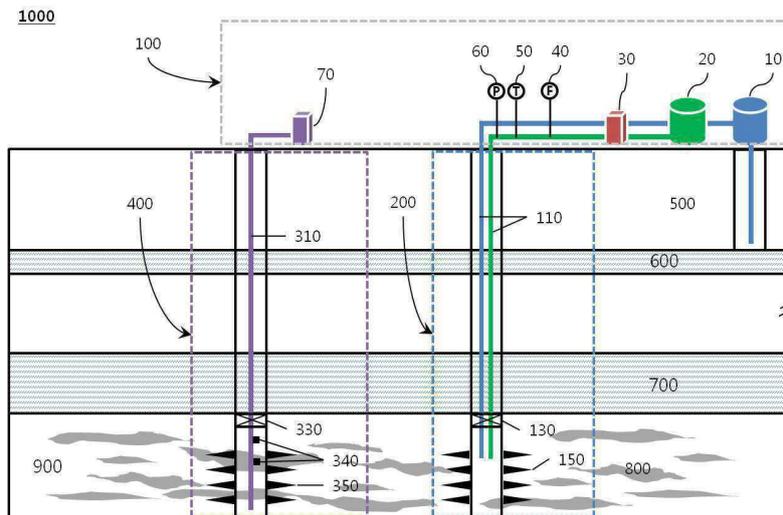
심사관 : 광주호

(54) 발명의 명칭 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명에 따른, 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템 및 방법은, 이산화탄소 지중 저장을 위해 이산화탄소를 지중으로 주입할 때, 물을 이산화탄소와 함께 주입함으로써, 불균질한 매질에서도 이산화탄소 저장능이 향상되는 동시에, 염침전에 의해 이산화탄소 주입효율이 저감되는 것을 방지할 수 있는 시스템 및 방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

F17C 13/02 (2013.01)

G01K 1/02 (2013.01)

G01L 19/08 (2013.01)

F17C 2221/01 (2013.01)

F17C 2260/04 (2013.01)

F17C 2270/0155 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GP2016-020

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 국가과학기술연구회

연구사업명 한국지질자원연구원 주요사업

연구과제명 지중주입된 이산화탄소 거동 및 누출 모니터링 현장적용 기술개발

기여율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2015.01.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

압력케이지와 온도케이지, 가압펌프 및 유체분석장치를 구비하는 지상시스템;

이산화탄소 주입튜브와 물 주입튜브를 구비하여, 이산화탄소와 물을 동시에 주입하거나 각각 주입할 수 있도록 구성되는 주입공시스템; 및

복수의 유체샘플링포트가 설치되어 있는 유체샘플링튜브를 포함하는 관측공시스템; 을 포함하되,

상기 복수의 유체샘플링포트는 상기 유체샘플링튜브가 지나는 여러 지층들의 각 지층에 적어도 하나 이상씩 설치되며,

상기 이산화탄소 주입튜브와 상기 물 주입튜브를 통하여 주입되는 이산화탄소와 물의 주입비율은,

0.1 이상 0.3 이하의 범위로부터,

0.3 초과 1.0 이하의 범위로 증가되고,

상기 이산화탄소와 물의 주입비율이 1.0이 되었을 때,

물의 주입은 중단되고 이산화탄소 주입은 계속되며,

상기 이산화탄소와 물의 주입비율은 상기 이산화탄소의 부피를 상기 물의 부피로 나누어 계산한 결과값인 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 2

공저압력을 측정 가능한 압력케이지와 온도케이지, 가압펌프 및 유체분석장치를 구비하는 지상시스템;

이산화탄소 주입튜브와 물 주입튜브를 구비하여, 이산화탄소와 물을 동시에 주입하거나 각각 주입할 수 있도록 구성되는 주입공시스템; 및

복수의 유체샘플링포트가 설치되어 있는 유체샘플링튜브를 포함하는 관측공시스템; 을 포함하되,

상기 복수의 유체샘플링포트는 상기 유체샘플링튜브가 지나는 여러 지층들의 각 지층에 적어도 하나 이상씩 설치되며,

상기 이산화탄소 주입튜브와 상기 물 주입튜브를 통하여 주입되는 이산화탄소와 물의 주입비율은,

0.1 이상 0.3 이하의 범위로부터,

0.3 초과 1.0 이하의 범위로 증가되고,

상기 이산화탄소와 물의 주입비율이 1.0이 되었을 때,

물의 주입은 중단되고 이산화탄소 주입은 계속되며,

상기 이산화탄소와 물의 주입비율은 상기 이산화탄소의 부피를 상기 물의 부피로 나누어 계산한 결과값인 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 압력게이지에서 공저압력을 측정하지 못하는 경우, 하기 수학적 식 1을 통하여 공저압력을 계산하는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템:

[수학적 식 1]

$$BHP = P_0 + \int \rho g z$$

(상기 [수학적 식 1]에서, P_0 은 압력 게이지(60)의 계측 값,

ρ 는 주입유체의 밀도로서 이산화탄소 또는 물의 밀도이며,

g 는 중력가속도,

z 는 지면을 기준으로 한 깊이를 의미한다.)

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 지상시스템에는,

물을 저장하는 물탱크와 이산화탄소를 액상으로 저장하는 이산화탄소탱크가 더 구비되고 상기 가압펌프는 상기 물 또는 상기 이산화탄소에 압력을 가할 수 있으며,

상기 주입공시스템에는,

지표로부터 저장층까지 형성되는 관정홀에 설치되는 케이싱, 상기 이산화탄소 주입튜브 또는 상기 물 주입튜브로부터 저장층으로 이산화탄소 또는 물이 유동할 수 있도록 통로 역할을 하는 퍼포레이션(perforation), 주입된 상기 이산화탄소 또는 물이 케이싱과 주입튜브 사이로 통과되어 저장층 외부로 누출되는 것을 방지하는 패커가 더 구비되며,

상기 관측공시스템에는,

지표로부터 저장층까지 형성되는 관정홀에 설치되는 케이싱, 상기 유체샘플링튜브와 저장층 사이에 이산화탄소 또는 물이 유동할 수 있도록 통로 역할을 하는 퍼포레이션(perforation), 상기 이산화탄소 또는 물이 상기 케이싱과 상기 유체샘플링튜브 사이로 통과되어 저장층 외부로 누출되는 것을 방지하는 패커가 더 구비되는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 지상시스템에는,

물을 저장하는 물탱크와 이산화탄소를 액상으로 저장하는 이산화탄소탱크가 더 구비되고 상기 가압펌프는 상기 물 또는 상기 이산화탄소에 압력을 가할 수 있으며,

상기 주입공시스템에는,

지표로부터 저장층까지 형성되는 관정홀에 설치되는 케이싱, 상기 이산화탄소 주입튜브 또는 상기 물 주입튜브로부터 저장층으로 이산화탄소 또는 물이 유동할 수 있도록 통로 역할을 하는 퍼포레이션(perforation), 주입된

상기 이산화탄소 또는 물이 케이싱과 주입튜브 사이로 통과되어 저장층 외부로 누출되는 것을 방지하는 패커가 더 구비되며,

상기 관측공시스템에는,

지표로부터 저장층까지 형성되는 관정홀에 설치되는 케이싱, 상기 유체샘플링튜브와 저장층 사이에 이산화탄소 또는 물이 유동할 수 있도록 통로 역할을 하는 퍼포레이션(perforation), 상기 이산화탄소 또는 물이 상기 케이싱과 상기 유체샘플링튜브 사이로 통과되어 저장층 외부로 누출되는 것을 방지하는 패커가 더 구비되는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 6

제 1항 내지 제 5항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 압력계이지는 상기 이산화탄소 주입튜브와 상기 물 주입튜브 및 상기 유체샘플링튜브 내부의 유체 압력을 각각 측정할 수 있도록 설치되고,

상기 온도계이지는 상기 이산화탄소 주입튜브와 상기 물 주입튜브 및 상기 유체샘플링튜브 내부의 유체 온도를 각각 측정할 수 있도록 설치되는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 7

제 1항 내지 제 5항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 지상시스템에 물탱크와 액상 이산화탄소가 저장되는 이산화탄소탱크를 더 구비하는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 8

제 1항 내지 제 5항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 이산화탄소 주입튜브의 일단은,

지상의 대규모 이산화탄소 배출원에서 포집된 이산화탄소를 수송하는 파이프라인의 일단 또는 상기 파이프라인 일단의 이산화탄소탱크에 연결되는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 9

제 1항 내지 제 5항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 물 주입튜브의 일단이,

인근 대수층의 물이 상기 주입공시스템으로 공급되도록 연결되는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 10

제 1항 내지 제 5항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 이산화탄소 주입튜브의 일단이,

지상의 대규모 이산화탄소 배출원에서 포집된 이산화탄소를 수송하는 파이프라인의 일단 또는 상기 파이프라인 일단의 이산화탄소탱크에 연결되고,

상기 물주입튜브의 일단은, 인근 대수층의 물이 상기 주입공시스템으로 공급되도록 연결되는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 11

제 1항 내지 제 5항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 이산화탄소 주입튜브의 일단이,

계류중인 선박으로부터 직접 이산화탄소를 공급받을 수 있도록 연결되거나,

계류중인 선박으로부터 이산화탄소를 공급받을 수 있는 이산화탄소탱크로부터 이산화탄소를 공급받을 수 있도록 연결되는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 12

제 1항 내지 제 5항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 가압펌프는, 상기 이산화탄소 주입튜브와 상기 물 주입튜브를 통하여 주입되는 이산화탄소와 물의 유량 혹은 주입압을 유체 별로 각각 조절할 수 있는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

주입튜브를 통해 주입되는 이산화탄소와 물의 주입비율이 결정되는 주입비율결정단계;

상기 결정된 주입비율로 이산화탄소와 물이 함께 주입되는 주입단계;

실트층의 이산화탄소 포화도를 측정하는 실트층포화도측정단계;

상기 실트층에서 측정된 이산화탄소 포화도의 안정화 여부를 판단하는 포화도안정화판단단계;

상기 실트층에서 측정된 이산화탄소 포화도가 안정화된 것으로 판단된 경우, 이산화탄소 주입비율을 점차 늘려 나가고,

물과 이산화탄소 주입비율이 같아진 이후에,

물 주입은 중단하고 이산화탄소 만을 주입하는 계속주입단계; 및

사암층의 포화도를 측정하는 사암층포화도측정단계; 를 포함하며,

상기 이산화탄소와 물의 주입비율은 상기 이산화탄소의 부피를 상기 물의 부피로 나누어 계산한 결과값인 것을

특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 방법.

청구항 16

제 15항에 있어서,

상기 실트층에서 측정된 이산화탄소 포화도가 안정화되지 않은 것으로 판단되는 경우, 상기 주입단계로 되돌아가는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 방법.

청구항 17

제 16항에 있어서,

상기 주입단계에서 이산화탄소와 물을 주입할 때,

공저압력(Bottom-hole pressure: BHP)이 최대주입압력(P_s)을 초과하지 않도록 하며,

상기 공저압력 계산 시, 하기 수학적 식 1을 통하여 계산하는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 방법:

[수학적 식 1]

$$BHP = P_0 + \int \rho g z$$

(상기 [수학적 식 1]에서, P_0 은 압력 게이지(60)의 계측 값,

ρ 는 주입유체의 밀도로서 이산화탄소 또는 물의 밀도이며,

g 는 중력가속도,

z 는 지면을 기준으로 한 깊이를 의미한다.)

청구항 18

제 15항 내지 제 17항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 주입비율결정단계에서 결정되는 이산화탄소와 물의 주입비율은,

0.1 이상 0.3 이하의 범위에서 결정되는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 방법.

청구항 19

제 18항에 있어서,

상기 포화도안정화판단단계에서 실트층의 이산화탄소 포화도가 안정화된 것으로 판단되었을 때,

상기 이산화탄소와 물의 주입비율을,

0.3 이상 1.0 이하의 범위에서 증가시키는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 방법.

청구항 20

제 19항에 있어서,

상기 이산화탄소와 물의 주입비율이 1.0이 되었을 때,

물 주입은 중단하고, 이산화탄소는 계속 주입되도록 하는 것을 특징으로 하는,

불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 불균질 한 지질 매질에서 이산화탄소 저장능을 향상시키는 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 이상유체(이산화탄소와 물)를 주입하여 모세관압이 큰 매질에서의 이산화탄소 저장능을 향상시킴과 동시에 염수층에서의 염침전을 방지하고, 이후 단일상유체(이산화탄소)를 주입하여 모세관압이 작은 매질에서의 이산화탄소 저장능을 향상시키는 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 이산화탄소는 주요 온실가스 중 하나이며, 인간 활동에 의한 이산화탄소 배출량의 증가는 지구 평균기온 상승과 해수면 상승 등의 결과를 가져온다. 따라서 이러한 기후변화에 대처하기 위해 적극적인 이산화탄소 감축의 노력이 필요하다.

[0004] 이산화탄소 저장 기술로는 지중 저장 기술을 비롯해서 해양 저장 기술 및 광물 탄산 염화 기술 등이 있다. 이 중에서, 해양 저장 기술(ocean storage technology)은, 이산화탄소를 기체, 액체, 고체 또는 수화물 상태로 해양이나 해저 바닥에 저장하는 기술로서, 해양생태계의 파괴 우려 및 장기적인 이산화탄소 저장에 대한 불안정성 등을 문제로 현재까지 본격적으로 시도되지 못하고 있는 기술이다.

[0005] 또한, 광물 탄산 염화 기술(mineral carbonation technology)은, 이산화탄소를 주로 칼슘과 마그네슘 등의 금속 산화물과 화학적으로 반응시켜 불용해성의 탄산염 광물 상태로 이산화탄소를 저장하는 기술로서, 많은 양의 반응 에너지가 요구됨과 동시에, 탄산염 광물의 저장 및 처리 자체에 환경 문제를 야기할 우려가 따르는 바, 아직까지는 실현되기 어려운 기술에 속한다.

[0006] 따라서 최근까지는 지중 저장 기술이 가장 효과적인 이산화탄소 저장 기술로서 평가 받고 있다. 지중 저장 기술(geologic storage technology)은, 육상(또는 해저) 800m 심도 이하에 존재하는 적합한 지층(geologic formation)에 이산화탄소를 저장하는 기술을 말한다. 주입된 이산화탄소는 초임계 유체 상태로 존재하므로, 거동이 대단히 느리고 주변 지층이나 지중 유체와 반응하여 고착 또는 용해된다. 이러한 의미에서 지중 저장 기술은 지중 격리 기술(geologic sequestration technology)로 불리기도 한다.

[0007] 이러한 이산화탄소 지중 저장 기술에 있어서, 지하 수 Km 깊이의 지중 저장 대상 지층까지 장심도 시추공을 안정적으로 시추하고, 가압 장치 등의 주입 시설을 이용하여 효과적이고 안정적으로 이산화탄소를 주입하기 위해서는, 고압 주입을 위한 지상 설비의 설계와 운용, 누출 방지 기술 실현 및 통합적인 이산화탄소의 지중 저장 기술이 먼저 실현되어야 할 것이다.

[0008] 이산화탄소 지중 저장 및 주입과 관련해서는 특허문헌 1에 개시된 바와 같은, 이산화탄소 지중 주입을 위한 압력 및 온도 조절 기능이 향상된 이산화탄소 분배 장치를, 관련 선행기술의 한 예로 들 수 있다.

[0009] 이산화탄소 지중 저장(CCS: Carbon Capture and Storage) 기술은 온실가스 대량배출원으로부터의 이산화탄소 배출량을 현저히 감축시킬 수 있는 핵심기술로서 그 중요성이 증대되고 있다. 국제에너지기구(IEA)에 의하면 이산화탄소 지중저장 기술은 2050년 전세계 온실가스 감축량의 17% (약 100억톤)를 담당할 것으로 전망하고 있다.

[0010] 일반적으로 이산화탄소를 주입/저장하는 조건으로는 초임계 상태를 유지할 수 있는 심부 800m 이하의 지층이 대상이다. 초임계 상태의 이산화탄소는 임계점인 7.39MPa과 31.1℃ 이상의 압력과 온도에서 유지되며, 이때 가스와 유사한 유동특성 (낮은 점도)을 가짐과 동시에 액체와 같이 상대적으로 높은 밀도를 가지는 장점이 있다. 그

러나 초입계 이산화탄소는 저장층 내에 존재하는 공극수(일반적으로 염수)에 비해 낮은 밀도를 가지며, 이로 인해 부력으로 상부로 상승하며, 대수층의 공간 활용도가 떨어진다. 즉, 저장효율 관점에서 봤을 때 저장층을 다 활용하지 못하는 단점이 있다. 더군다나 저장층이 사암과 실트가 교호하는 불균질 매질일 경우 주입된 이산화탄소는 높은 모세관압의 실트층을 통과하지 못하고 우회하게 되며, 저장효율이 감소한다. 따라서 종래의 기술방법으로는 불균질 매질에서, 지질 매질의 특성에 따라 이산화탄소 저장효율이 결정되어 버리는 문제가 발생한다.

[0011] 또한, 이산화탄소 지중저장을 위해 적합한 지층을 선정할 때에는, 일반적으로 지하수자원이 부족한 지층은 대상에서 배제하고, 응용으로 활용할 수 없는 염수로 포화된 지층을 우선적으로 선정한다. 이러한 염수층에 이산화탄소를 주입하면 주입정 인근에서 이산화탄소가 염수를 밀어내며 공극의 대부분을 이산화탄소가 차지하게 된다. 이때 모세관압에 의해 잔류되어 있던 일부 염수가 이산화탄소에 녹아들어가며 염(salt)이 침전하는 현상이 발생한다. 이러한 염침전은 공극을 막으며, 주입된 이산화탄소가 공극 내에서 원활하게 이동하는 것을 방해하여 주입효율을 감소시키게 되고, 결국에는 경제적인 손실을 발생시키게 된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1178148호 (2012년 08월 23일 등록, 발명의 명칭: 이산화탄소 지중 주입을 위한 압력 및 온도 조절 기능이 향상된 이산화탄소 분배 장치)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명의 일 목적은, 이산화탄소 지중 저장에 있어서, 불균질 매질에서 모세관압이 큰 저투수층의 경우 이산화탄소가 우회하여 유동함에 따라 저장효율이 감소되는 문제를 해결하는 것에 있다.

[0015] 본 발명의 다른 목적은, 염수층에서 발생하는 염침전에 의한 주입효율 감소 문제를 해결하는 것에 있다.

[0017] 또한, 본 발명이 "해결하고자 하는 과제"는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)는 이하의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0019] 상술한 본 발명이 "해결하고자 하는 과제"의 해결 수단으로서,

[0020] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른, 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템은,

[0021] 압력게이지와 온도게이지, 가압펌프 및 유체분석장치를 구비하는 지상시스템; 이산화탄소 주입튜브와 물 주입튜브를 구비하여, 이산화탄소와 물을 동시에 주입하거나 각각 주입할 수 있도록 구성되는 주입공시스템; 및 복수의 유체샘플링포트가 설치되어 있는 유체샘플링튜브를 포함하는 관측공시스템; 을 포함하되, 복수의 유체샘플링포트는 유체샘플링튜브가 지나는 여러 지층들의 각 지층에 적어도 하나 이상씩 설치되는 것을 특징으로 하는 일 실시예와,

[0022] 공저압력을 측정 가능한 압력게이지와 온도게이지, 가압펌프 및 유체분석장치를 구비하는 지상시스템; 이산화탄소 주입튜브와 물 주입튜브를 구비하여, 이산화탄소와 물을 동시에 주입하거나 각각 주입할 수 있도록 구성되는 주입공시스템; 및 복수의 유체샘플링포트가 설치되어 있는 유체샘플링튜브를 포함하는 관측공시스템; 을 포함하되, 복수의 유체샘플링포트는 유체샘플링튜브가 지나는 여러 지층들의 각 지층에 적어도 하나 이상씩 설치되는 것을 특징으로 하는 다른 실시예를 포함하며,

[0023] 상기 일 실시예 및 다른 실시예에서 각각 과생될 수 있는 실시예들로는,

[0024] 압력게이지에서 공저압력을 측정하지 못하는 경우, 지상의 압력 게이지 계측 값을 참조하여 공저압력을 계산하는 것을 특징으로 하는 실시예,

[0025] 지상시스템에는, 물을 저장하는 물탱크와 이산화탄소를 액상으로 저장하는 이산화탄소탱크가 더 구비되고, 주입

공시스템에는, 지표로부터 저장층까지 형성되는 관정홀에 설치되는 케이싱, 이산화탄소 주입튜브 또는 물 주입 튜브로부터 저장층으로 이산화탄소 또는 물이 유동할 수 있도록 통로 역할을 하는 퍼포레이션(perforation), 주 입된 이산화탄소 또는 물이 케이싱과 주입튜브 사이로 통과되어 저장층 외부로 누출되는 것을 방지하는 패커가 더 구비되며, 관측공시스템에는, 지표로부터 저장층까지 관정홀에 설치되는 케이싱, 지층의 유체를 샘플링하기 위한 유체샘플링튜브 및 유체샘플링튜브가 지나는 여러 지층들의 각 지층에 적어도 하나 이상씩 설치되는 유체 샘플링포트, 유체샘플링튜브 내의 유체가 상기 케이싱과 유체샘플링튜브 사이로 통과되어 저장층 외부로 누출되는 것을 방지하는 패커가 더 구비되는 것을 특징으로 하는 실시예,

- [0026] 압력계이지는 이산화탄소 주입튜브와 물 주입튜브 및 유체샘플링튜브 내부의 유체 압력을 각각 측정할 수 있도록 주입공시스템과 관측공시스템에 각각 설치되고, 온도계이지는 이산화탄소 주입튜브와 물 주입튜브 및 유체샘플링튜브 내부의 유체 온도를 각각 측정할 수 있도록 주입공시스템과 관측공시스템에 각각 설치되는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0027] 지상시스템에 물탱크와 이산화탄소탱크를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0028] 이산화탄소 주입튜브의 일단이, 지상의 대규모 이산화탄소 배출원에서 포집된 이산화탄소를 수송하는 파이프라인의 일단 또는 파이프라인 일단의 이산화탄소탱크에 연결되는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0029] 물 주입튜브의 일단이, 인근 대수층의 물이 주입공시스템으로 공급되도록 연결되는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0030] 이산화탄소 주입튜브의 일단이, 지상의 대규모 이산화탄소 배출원에서 포집된 이산화탄소를 수송하는 파이프라인의 일단 또는 파이프라인 일단의 이산화탄소탱크에 연결되고, 물주입튜브의 일단은, 인근 대수층의 물이 주입 공시스템으로 공급되도록 연결되는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0031] 이산화탄소 주입튜브의 일단이, 계류중인 선박으로부터 직접 이산화탄소를 공급받을 수 있도록 연결되거나, 계 류중인 선박으로부터 이산화탄소를 공급받을 수 있는 이산화탄소탱크에 연결되어 이산화탄소를 공급받을 수 있 도록 연결되는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0032] 가압펌프는, 이산화탄소 주입튜브와 물 주입튜브를 통하여 주입되는 이산화탄소와 물의 유량 혹은 주입압을 유 체 별로 각각 조절할 수 있는 것을 특징으로 하는 실시예 등이 더 포함될 수 있다.
- [0033] 또한, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른, 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효 율 저감 해소 방법은,
- [0034] 주입튜브를 통해 주입되는 이산화탄소와 물의 주입비율이 결정되는 주입비율결정단계; 결정된 주입비율로 이산 화탄소와 물이 함께 주입되는 주입단계; 실트층의 이산화탄소 포화도를 측정하는 실트층포화도측정단계; 실트층 에서 측정된 이산화탄소 포화도의 안정화 여부를 판단하는 포화도안정화판단단계; 실트층에서 측정된 이산화탄 소 포화도가 안정화된 것으로 판단된 경우, 이산화탄소 주입비율을 점차 늘려나가고, 물과 이산화탄소 주입비율 이 같아진 이후에, 물 주입은 중단하고 이산화탄소 만을 주입하는 계속주입단계; 사암층의 포화도를 측정하는 사암층포화도측정단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 또 다른 실시예를 포함하며,
- [0035] 또 다른 실시예에서 파생될 수 있는 실시예들로는,
- [0036] 실트층에서 측정된 이산화탄소 포화도가 안정화되지 않은 것으로 판단되는 경우, 주입단계로 되돌아가는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0037] 주입단계에서 이산화탄소와 물을 주입할 때, 공저압력(Bottom-hole pressure: BHP)이 최대주입압력(Ps)을 초과 하지 않도록 하며, 지상의 압력 게이지 계측 값을 참조하여 공저압력을 계산하는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0038] 주입비율결정단계에서 결정되는 이산화탄소와 물의 주입비율은, 0.1 이상 0.3 이하의 범위에서 결정되는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0039] 포화도안정화판단단계에서 실트층의 이산화탄소 포화도가 안정화된 것으로 판단되었을 때, 이산화탄소와 물의 주입비율을, 0.3 이상 1.0 이하의 범위에서 증가시키는 것을 특징으로 하는 실시예,
- [0040] 이산화탄소와 물의 주입비율이 1.0이 되었을 때, 물 주입은 중단하고, 이산화탄소는 계속 주입되도록 하는 것을 특징으로 하는 실시예 들을 예로 들 수 있다.
- [0042] 기타 실시예의 구체적인 사항은 "발명을 실시하기 위한 구체적인 내용" 및 첨부 "도면"에 포함되어 있다.
- [0043] 본 발명의 이점 및/또는 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는

각종 실시예를 참조하면 명확해질 것이다.

[0044] 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 각 실시예의 구성만으로 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수도 있으며, 단지 본 명세서에서 개시하는 각각의 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구범위의 각 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐임을 알아야 한다.

발명의 효과

[0046] 이상과 같은 구성을 갖는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른, 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템 및 방법에 따르면, 불균질매질에서의 이산화탄소 저장능을 향상시킬 수 있는 이산화탄소 지중 저장 시스템 및 방법이 제공될 수 있다.

[0047] 또한, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른, 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템 및 방법에 따르면, 염침전에 의한 이산화탄소 주입효율 저감 문제를 해결할 수 있는 이산화탄소 지중 저장 시스템 및 방법이 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0049] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템의 전체 구성을 나타낸 단면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 방법에 있어서 주입순서를 나타낸 순서도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 이산화탄소를 단일상(single-phase)으로 주입한 케이스에 대해 주입율이 $q=1.0$ ml/min일 때, 코어 내 이산화탄소 포화도를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 이산화탄소와 물을 이상(two-phase)으로 동시에 주입(co-injection)한 케이스에 대해 주입율이 $q=1.0$ ml/min일 때, 코어 내 이산화탄소 포화도를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 이산화탄소와 물을 이상(two-phase)으로 동시에 주입(co-injection)한 케이스에 대해 이산화탄소와 물의 비율(fCO_2)에 따른 이산화탄소 포화도 변화를 도시한 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 이산화탄소와 물을 불균질 사암 코어시료에 주입했을 때, 이산화탄소와 물의 비율(fCO_2)에 따른 압력변화를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0050] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 여러 가지 실시예에 대해서 설명하기로 한다.

[0052] 본 발명을 상세하게 설명하기 전에, 본 명세서에서 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 무조건 한정하여 해석되어서는 아니되며, 본 발명의 발명자가 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해서 각종 용어의 개념을 적절하게 정의하여 사용할 수 있고, 더 나아가 이들 용어나 단어는 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 함을 알아야 한다.

[0053] 즉, 본 명세서에서 사용된 용어는 본 발명의 바람직한 실시예를 설명하기 위해서 사용되는 것일 뿐이고, 본 발명의 내용을 구체적으로 한정하려는 의도로 사용된 것이 아니며, 이들 용어는 본 발명의 여러 가지 가능성을 고려하여 정의된 용어임을 알아야 한다.

[0054] 또한, 본 명세서에 있어서, 단수의 표현은 문맥상 명확하게 다른 의미로 지시하지 않는 이상, 복수의 표현을 포함할 수 있으며, 유사하게 복수로 표현되어 있다고 하더라도 단수의 의미를 포함할 수 있음을 알아야 한다.

[0055] 본 명세서의 전체에 걸쳐서 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소를 "포함"한다고 기재하는 경우에는, 특별히 반대되는 의미의 기재가 없는 한 임의의 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 임의의 다른 구성 요소를 더 포함할 수도 있다는 것을 의미할 수 있다.

[0056] 더 나아가서, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소의 "내부에 존재하거나, 연결되어 설치된다"고 기재한 경우에는, 이 구성 요소가 다른 구성 요소와 직접적으로 연결되어 있거나 접촉하여 설치되어 있을 수 있고, 일정한 거리를 두고 이격되어 설치되어 있을 수도 있으며, 일정한 거리를 두고 이격되어 설치되어 있는 경우에 대해서는 해당

구성 요소를 다른 구성 요소에 고정 내지 연결시키기 위한 제 3의 구성 요소 또는 수단이 존재할 수 있으며, 이 제 3의 구성 요소 또는 수단에 대한 설명은 생략될 수도 있음을 알아야 한다.

- [0057] 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결"되어 있다거나, 또는 "직접 접속"되어 있다고 기재되는 경우에는, 제 3의 구성 요소 또는 수단이 존재하지 않는 것으로 이해하여야 한다.
- [0058] 마찬가지로, 각 구성 요소 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 " ~ 사이에"와 "바로 ~ 사이에", 또는 " ~ 에 이웃하는"과 " ~ 에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 취지를 가지고 있는 것으로 해석되어야 한다.
- [0059] 또한, 본 명세서에 있어서 "일면", "타면", "일측", "타측", "제 1", "제 2" 등의 용어는, 사용된다면, 하나의 구성 요소에 대해서 이 하나의 구성 요소가 다른 구성 요소로부터 명확하게 구별될 수 있도록 하기 위해서 사용되며, 이와 같은 용어에 의해서 해당 구성 요소의 의미가 제한적으로 사용되는 것은 아님을 알아야 한다.
- [0060] 또한, 본 명세서에서 "상", "하", "좌", "우" 등의 위치와 관련된 용어는, 사용된다면, 해당 구성 요소에 대해서 해당 도면에서의 상대적인 위치를 나타내고 있는 것으로 이해하여야 하며, 이들의 위치에 대해서 절대적인 위치를 특정하지 않는 이상은, 이들 위치 관련 용어가 절대적인 위치를 언급하고 있는 것으로 이해하여서는 아니된다.
- [0061] 더욱이, 본 발명의 명세서에서는, "...부", "...기", "모듈", "장치" 등의 용어는, 사용된다면, 하나 이상의 기능이나 동작을 처리할 수 있는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어, 또는 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있음을 알아야 한다.
- [0062] 또한, 본 명세서에서는 각 도면의 각 구성 요소에 대해서 그 도면 부호를 명기함에 있어서, 동일한 구성 요소에 대해서는 이 구성 요소가 비록 다른 도면에 표시되더라도 동일한 도면 부호를 가지고 있도록, 즉 명세서 전체에 걸쳐 동일한 참조 부호는 동일한 구성 요소를 지시하고 있다.
- [0063] 본 명세서에 첨부된 도면에서 본 발명을 구성하는 각 구성 요소의 크기, 위치, 결합 관계 등은 본 발명의 사상을 충분히 명확하게 전달할 수 있도록 하기 위해서 또는 설명의 편의를 위해서 일부 과장 또는 축소되거나 생략되어 기술되어 있을 수 있고, 따라서 그 비례나 축척은 엄밀하지 않을 수 있다.
- [0064] 또한, 이하에서, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 구성, 예를 들어, 종래 기술을 포함하는 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략될 수도 있다.
- [0066] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른, 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입 효율 저감 해소 시스템의 전체 구성을 나타낸 단면도이다.
- [0067] 도 1을 참조하면, 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템(1000)은, 크게 지상시스템(100), 주입공시스템(200), 그리고 관측공시스템(400)으로 구성된다.
- [0068] 지상시스템(100)은 물탱크(10), 이산화탄소탱크(20), 가압펌프(30), 유량계(40), 온도게이지(50), 압력게이지(60), 그리고 유체분석장치(70)로 구성된다.
- [0069] 주입공시스템(200)은 유체를 지중으로 주입하기 위한 부분으로서, 케이싱(미도시), 두 개의 주입튜브(110), 패커(130), 퍼포레이션(perforation)(150)으로 구성된다.
- [0070] 관측공시스템(400)은 지중의 유체를 샘플링하기 위한 부분으로서, 케이싱(미도시), 유체샘플링튜브(310), 패커(330), 다수의 유체샘플링포트(340), 그리고 퍼포레이션(perforation)(350)으로 구성된다.
- [0071] 여기서, 이산화탄소 저장층은 투과계수와 공극률이 높아 저장능이 비교적 양호한 사암층(900)과 투과계수와 공극률이 낮아 저장능이 상대적으로 좋지 않은 실트층(800)으로 구성된다.
- [0072] 상기 지상시스템(100)에서 이산화탄소탱크(20)는 액상의 이산화탄소를 저장하는 탱크이며, 물탱크(10)는 담수를 저장할 수 있도록 한다. 이는 소규모의 파일럿 실증시험(1만톤 이하)에 적절한 시스템이다. 중규모(10만톤급) 혹은 상용규모(100만톤급 이상)의 실증시험 시에는 이산화탄소는 화력발전소와 같은 대규모 이산화탄소 배출원에서 포집하여 파이프라인을 통해 수송하며, 이러한 경우 상기 지상시스템(100)에 이산화탄소탱크(20)가 포함되지 않는 경우가 있을 수 있다. 중규모 혹은 상용규모의 경우, 물은 인근 대수층(500)에서 지하수를 양수하여 공급한다. 이때 대수층(500)은 이산화탄소 저장층과 수리적으로 분리되어 있어야 한다.
- [0073] 또한, 상기 지상시스템(100)에 이산화탄소탱크(20)가 포함되지 않는 경우의 다른 예는, 해상에 계류 중인 이산화탄소 수송선으로부터 이산화탄소를 공급받아 지중에 저장하는 것이 주용도인 시스템의 경우이다.

- [0074] 또한, 상기 지상시스템(100)에 이산화탄소탱크(20)가 포함되지 않는 경우의 다른 예로, 상기 지상시스템(100)이 지상의 대규모 이산화탄소 배출원에 인접하여 자리한 경우를 들 수 있다. 이런 경우에 상기 대규모 이산화탄소 배출원에 속하는 설비로서 이미 존재하는 이산화탄소탱크를 이용할 수 있으므로, 상기 지상시스템(100)에 이산화탄소탱크(20)를 더 구비하지 않는 형태로 상기 지상시스템(100)이 구현될 수도 있다.
- [0075] 상기 지상시스템(100)에서 가압펌프(30)는 주입유체(이산화탄소와 물)의 유량 혹은 주입압을 주입유체 별로 각각 조절할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.
- [0076] 상기 지상시스템(100)에서 유량계(40)와 온도게이지(50) 및 압력게이지(60)는 상기 가압펌프(30)와 주입튜브(110) 사이의 연결 파이프라인에 설치하여, 실시간으로 각 주입유체 별 유량, 압력, 온도를 모니터링 할 수 있도록 한다. 또한, 온도게이지 및 압력게이지(60)은 유체분석장치(70)와 관측공시스템(400) 및 유체샘플링튜브(310) 사이의 연결 파이프라인에도 설치하여 유체샘플링튜브(310) 내의 유량, 압력, 온도를 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 한다.
- [0077] 상기 주입공시스템(200)의 주입튜브(110)는 주입공 케이싱 내에 별도의 2개 튜브가 설치되며, 상기 2개 주입튜브는 각각, 이산화탄소와 물을 지상에서 사암층(900)으로 이동시키는 통로가 된다. 이때 2개 주입튜브(110)는 이산화탄소에 의한 부식을 방지하기 위해 크롬재질을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0078] 상기 주입공시스템(200)의 퍼포레이션(150)은 이산화탄소와 물이 상기 주입튜브(110)로부터 사암층(900)으로 유동할 수 있도록 통로 역할을 한다.
- [0079] 상기 주입공시스템(200)의 패커(130)는 상기 주입공시스템(200) 내에 덮개암(600)(700)과 상기 사암층(900)의 경계부 아래쪽에 설치되어, 주입된 유체(이산화탄소와 물)가 상기 주입공시스템(200)의 케이싱과 주입튜브(110) 사이로 통과되어 상기 사암층(900) 외부로 누출되는 것을 방지하는 역할을 한다.
- [0080] 상기 관측공시스템(400)은 상기 주입공시스템(200)을 통해 주입된 이산화탄소가 지질매질을 통해 도달하여 지층 내 포화도를 측정할 수 있는 거리에 설치한다. 지층이 경사져 있는 경우에는 관측공시스템(400)을 주입공시스템(200)으로부터 경사상부(up-dip) 쪽에 설치한다.
- [0081] 상기 관측공시스템(400)의 유체샘플링튜브(310)는 사암층(900) 내의 유체를 저장층 내 압력을 유지한 상태에서 채취하여 지표로 이동시키는 통로가 된다.
- [0082] 상기 관측공시스템(400)의 유체샘플링포트(340)는 사암층(900)에 한 개 이상, 그리고 실트층(800)에 한 개 이상 설치되어 상기 저장층을 구성하는 각 지층에서의 유체샘플링이 가능하도록 하는 것이 바람직하다.
- [0084] 도 2는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른, 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입 효율 저감 해소 방법에 있어서의, 주입순서를 나타낸 순서도이다.
- [0085] 먼저 주입공시스템(200)을 통해 주입되는 이산화탄소와 물의 주입비율이 결정되며, 이때 이산화탄소와 물의 주입비율은 0.1 내지 0.3 범위에서 결정된다(F100 단계). 여기에서, 이산화탄소와 물의 주입비율 값은, 이산화탄소의 부피를 물의 부피로 나누어 계산한 결과값이며, F100 단계 및 F100 단계 이하 모든 단계에서 이산화탄소와 물의 주입비율을 기재했을 때는, 주입되는 이산화탄소와 물 사이의 부피비 계산 결과값임을 미리 알려준다.
- [0086] 이하 상기 F100 단계를 주입비율결정단계라 한다.
- [0087] 상기 주입비율결정단계에서 결정된 주입비율로 이산화탄소와 물을 함께 주입한다(F200 단계). 이때 공저압력(Bottom-hole pressure: BHP)은 지층의 안정성 확보를 위해 최대주입압력(Ps)을 초과하지 않도록 하는 것이 바람직하다. 또한, 공저 압력계가 미설치된 경우, 공저압력은 지상시스템(100)의 압력 게이지(60) 계측 값(P₀)을 이용하여 하기 [수학식 1]과 같이 계산한다.
- [0088] 이하 상기 F200 단계를 주입단계라 한다.
- [0090] [수학식 1]

[0091]
$$BHP = P_0 + \int \rho g z$$

[0092] (단, 상기 [수학식 1]에서 P₀은 압력 게이지(60)의 계측 값이고, ρ는 주입유체의 밀도로서 이산화탄소 또는

물의 밀도이며, g 는 중력가속도, z 는 기준면에 대한 높이를 의미한다.)

- [0094] 상기 수학식 1 중 기준면에 대한 높이로 설명한 z 의 의미는, 본 발명의 바람직한 일 실시예와 같은 경우에, 지면을 기준으로 한 깊이로 보면 된다.
- [0095] 이산화탄소와 물을 동시에 주입할 경우, 유체는 높은 모세관압을 가지는 실트층(800)을 통과하여 이산화탄소의 저장능을 높임과 동시에, 주입된 물은 주입공 인근에 존재하던 염수를 밀어냄으로써, 이후 이산화탄소만 주입할 때 발생할 수 있는 염침전의 가능성을 해소한다.
- [0096] 이후 관측공시스템(400)에서 실트층(800)에 설치된 유체샘플링포트(340)를 통해 이산화탄소 포화도를 측정한다(F300 단계).
- [0097] 이하 상기 F300 단계를 실트층포화도측정단계라 한다.
- [0098] 실트층(800)의 이산화탄소 포화도를 측정하고, 이산화탄소 포화도가 안정화되었는지를 판단한다(F400 단계).
- [0099] 이하 상기 F400 단계를 포화도안정화판단단계라 한다.
- [0100] 상기 포화도안정화판단단계에서 이산화탄소 포화도가 안정화된 것으로 판단되는 경우, 물 주입은 중단하고 이산화탄소만을 주입하며(F500 단계), 이산화탄소 포화도가 안정화되지 않은 경우에는 상기 주입단계(F200)로 되돌아가 주입단계와 포화도안정화판단단계를 다시 거치게 된다.
- [0101] 이하 상기 F500 단계를 계속주입단계라 한다.
- [0102] 이후 관측공시스템(400)에서, 사암층(900)에 설치된 유체샘플링포트(340)를 통해 이산화탄소 포화도를 측정한다(F600 단계).
- [0103] 이하 상기 F600 단계를 사암층포화도측정단계라 한다.
- [0105] [실험예]
- [0106] 도 3 내지 도 6은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른,
- [0107] 불균질 사암 코어시료를 대상으로 이산화탄소를 단일상(single-phase)으로 주입한 케이스와, 이산화탄소와 물을 동시에 주입(co-injection)한 케이스를 비교하기 위해 실시한 실내 실험 결과를 나타낸 도면이다. 코어의 공극률과 투과계수는 각각 0.23과 $23 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ 이며, 공극체적(Pore Volume; 이하 PV라 함)은 19.7ml이다. 본 실험은 심도 1km 지층의 환경을 재현하기 위해 압력 10MPa, 온도 40°C 조건을 유지하였다. 이때 이산화탄소는 초임계상을 유지한다.
- [0109] 도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따라, 이산화탄소를 단일상(single-phase)으로 주입한 케이스에 대하여, 주입율이 $q=1.0 \text{ ml/min}$ 일 때, 코어 내 이산화탄소 포화도를 나타낸 도면이다.
- [0110] 도 3을 참조하면, 주입량에 따른 0.25, 0.50, 1.00, 6.00 PV에서의 포화도가 도시되어 있으며, 6 PV에서는 정상상태(steady-state)에 도달하였다. 이산화탄소를 단일상(single-phase)으로 주입한 경우, 모세관압이 큰 실트층(800)(20-30 mm)이 이산화탄소의 유동을 방해하며 사암층(900)(10-20 mm)에 축적된다. 그 결과 사암층(900)에서 이산화탄소의 포화도가 상승함을 볼 수 있다.
- [0112] 도 4는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따라, 이산화탄소와 물을 이상(two-phase)으로 동시에 주입(co-injection)한 케이스에 대하여, 주입율이 $q=1.0 \text{ ml/min}$ 일 때, 코어 내 이산화탄소 포화도를 나타낸 도면이다.
- [0113] 도 4를 참조하면, 이산화탄소와 물의 비율(f_{CO_2})이 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 에서의 포화도가 도시되어 있다. 이산화탄소와 물을 이상(two-phase)으로 동시에 주입(co-injection)하는 경우, 단일상(single-phase)으로 주입한 실험과 달리 모세관압이 큰 실트층(800)(20-30mm)에서 이산화탄소 포화도가 상승함을 볼 수 있다.
- [0115] 도 5는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따라, 이산화탄소와 물을 이상(two-phase)으로 동시에 주입(co-injection)한 케이스에 대해 이산화탄소와 물의 비율(f_{CO_2})에 따른 이산화탄소 포화도 변화를 도시한 그래프이다.
- [0116] 도 5를 참조하면, 이산화탄소와 물의 비율(f_{CO_2})이 0.1 내지 0.3일 때, 실트층(800)(20-30mm)에서 상대적으로

높은 이산화탄소 포화도를 보였다. 이산화탄소와 물의 비율(fCO_2)이 0.4에서 0.9로 증가함에 따라 이산화탄소의 포화도 피크가 사암층(900)(10-20mm)으로 이동함을 볼 수 있다.

[0118] 도 6은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따라, 이산화탄소와 물을 불균질 사암 코어시료에 주입했을 때, 이산화탄소와 물의 비율(fCO_2)에 따른 압력변화를 도시한 그래프이다.

[0119] 도 6을 참조하면, 물만 주입되었을 경우의 압력이 약 120kPa 정도이며, 이산화탄소와 물의 비율(fCO_2)이 0.1 내지 0.3일 때 가장 높은 압력 (약 150kPa)값을 보였다. 따라서 이산화탄소와 물의 비율(fCO_2)이 0.1 내지 0.3일 때, 모세관압이 높은 지층(예: 실트층)을 가장 잘 침투해 들어갈 수 있음을 알 수 있다. 또한, 이산화탄소와 물의 비율(fCO_2)이 0.4에서 0.9로 증가함에 따라 압력은 140kPa에서 60kPa로 서서히 감소하였다. 이산화탄소와 물의 비율(fCO_2)이 1.0일 때 압력은 20kPa 이하로 감소하며, 이 경우 이산화탄소는 실트층(800)에 막히고 사암층(900)에 축적되어 이산화탄소 포화도가 증가하게 된다.

[0121] 이상, 일부 예를 들어서 본 발명의 바람직한 여러 가지 실시예에 대해서 설명하였지만, 본 "발명을 실시하기 위한 구체적인 내용" 항목에 기재된 여러 가지 다양한 실시예에 관한 설명은 예시적인 것에 불과한 것이며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이상의 설명으로부터 본 발명을 다양하게 변형하여 실시하거나 본 발명과 균등한 실시를 행할 수 있다는 점을 잘 이해하고 있을 것이다.

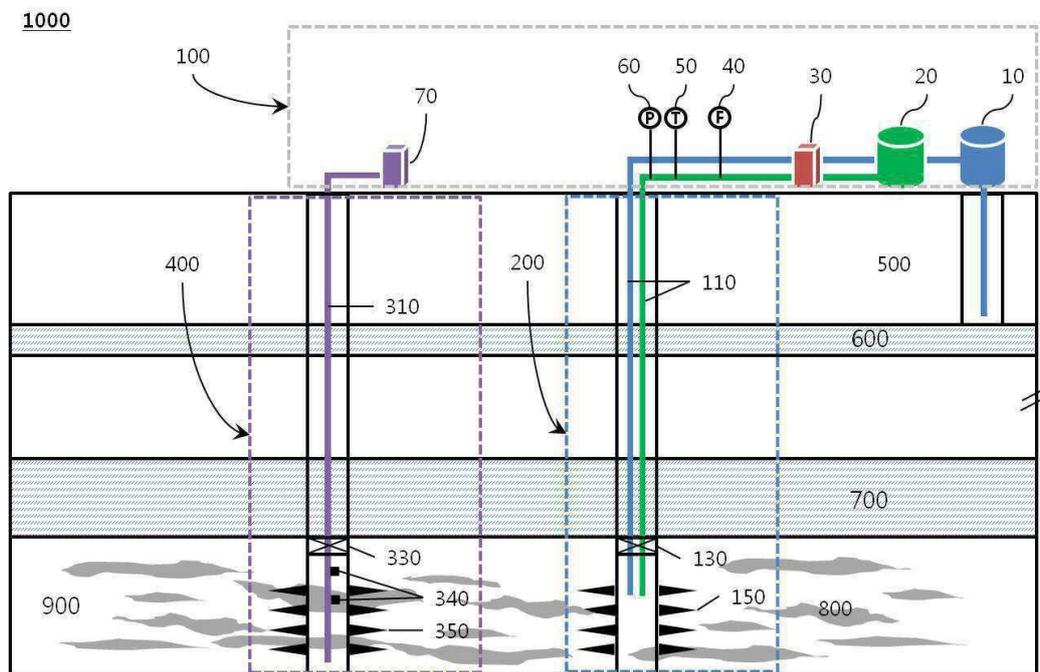
[0122] 또한, 본 발명은 다른 다양한 형태로 구현될 수 있기 때문에 본 발명은 상술한 설명에 의해서 한정되는 것이 아니며, 이상의 설명은 본 발명의 개시 내용이 완전해지도록 하기 위한 것으로, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것일 뿐이며, 본 발명은 청구범위의 각 청구항에 의해서 정의될 뿐임을 알아야 한다.

부호의 설명

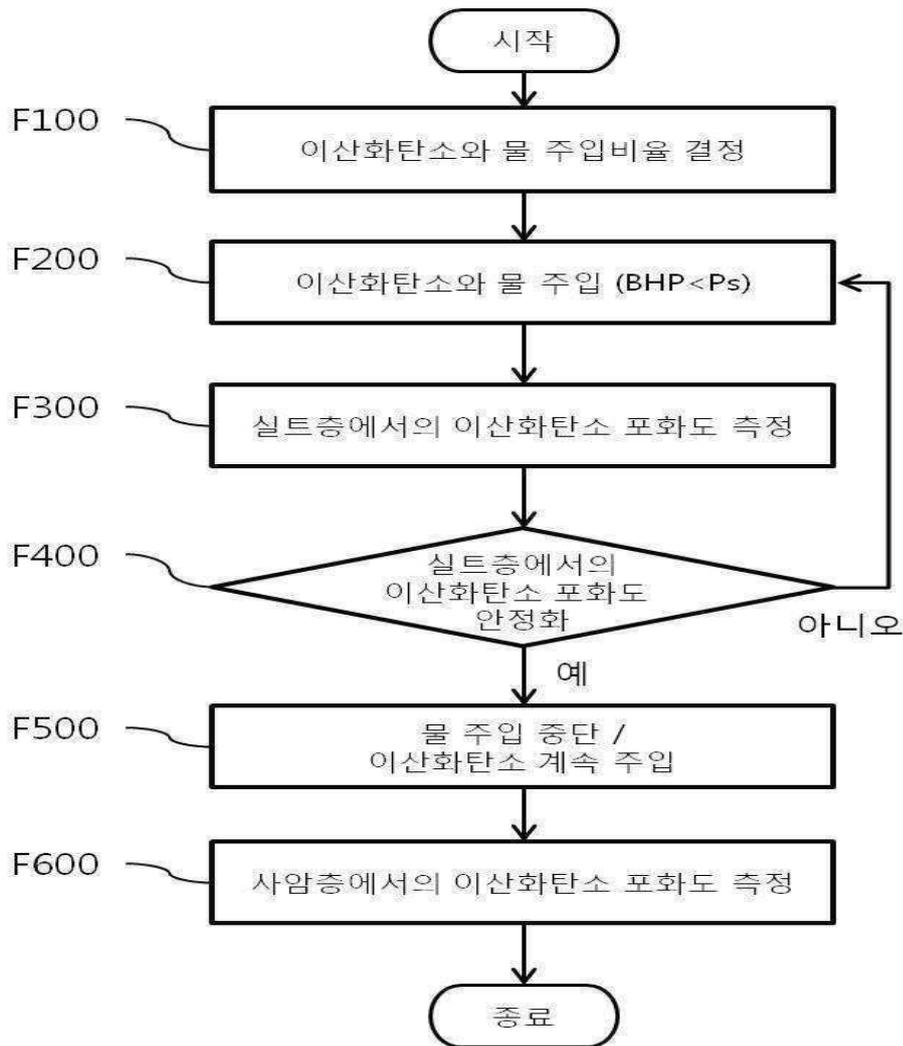
- [0124]
- | | |
|---------------|--------------|
| 10 : 물탱크 | 20 : 이산화탄소탱크 |
| 30 : 가압펌프 | 40 : 유량계 |
| 50 : 온도 게이지 | 60 : 압력 게이지 |
| 70 : 유체분석장치 | 100 : 지상시스템 |
| 110 : 주입튜브 | 130 : 패커 |
| 150 : 퍼포레이션 | 200 : 주입공시스템 |
| 310 : 유체샘플링튜브 | 330 : 패커 |
| 340 : 유체샘플링포트 | 350 : 퍼포레이션 |
| 400 : 관측공시스템 | 500 : 천부대수층 |
| 600 : 덮개암 | 700 : 덮개암 |
| 800 : 실트층 | 900 : 사암층 |
- 1000 : 불균질매질에서 이산화탄소 저장능 향상 및 염침전에 의한 주입효율 저감 해소 시스템

도면

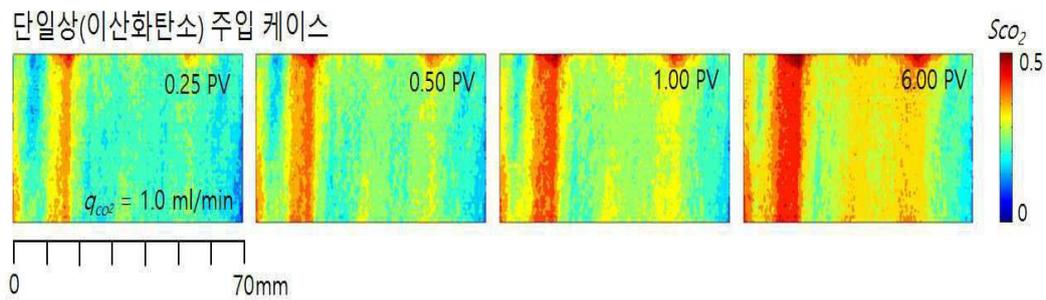
도면1



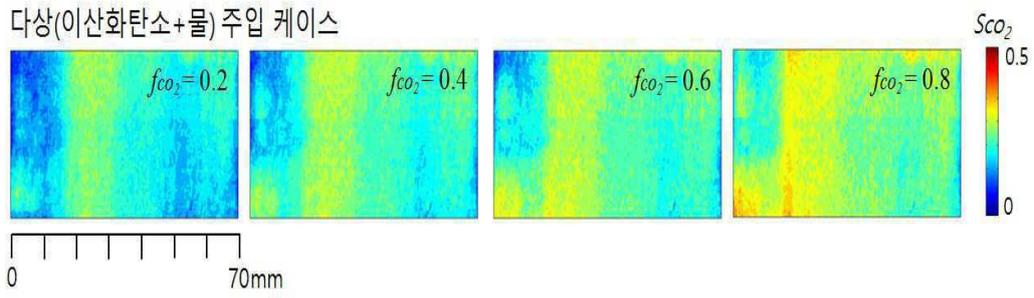
도면2



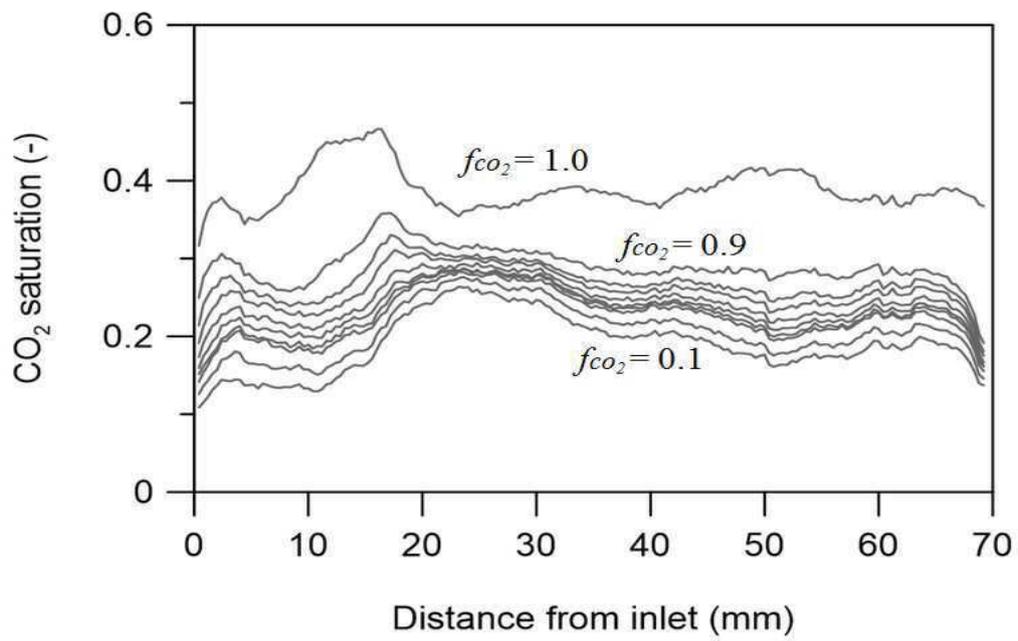
도면3



도면4



도면5



도면6

