



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년05월27일
(11) 등록번호 10-2115212
(24) 등록일자 2020년05월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 15/08 (2006.01) E21B 43/01 (2006.01)
G01K 13/10 (2006.01) G01N 33/24 (2006.01)
G01V 9/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 15/088 (2013.01)
E21B 41/0099 (2020.05)
(21) 출원번호 10-2015-7005951
(22) 출원일자(국제) 2013년11월15일
심사청구일자 2018년11월09일
(85) 번역문제출일자 2015년03월06일
(65) 공개번호 10-2015-0082175
(43) 공개일자 2015년07월15일
(86) 국제출원번호 PCT/US2013/070243
(87) 국제공개번호 WO 2014/078624
국제공개일자 2014년05월22일
(30) 우선권주장
61/727,555 2012년11월16일 미국(US)
61/727,560 2012년11월16일 미국(US)

(73) 특허권자
셰브론 유.에스.에이.인크.
미합중국 94583 캘리포니아주 샌래몬 볼링거 캐년
로드 6001
(72) 발명자
데이글, 휴 캘러한
미국 캘리포니아주 94583 샌래몬 볼링거 캐년 로
드 6001
발체스키, 존 토마스
미국 캘리포니아주 94583 샌래몬 볼링거 캐년 로
드 6001
(74) 대리인
특허법인충정

(56) 선행기술조사문헌
Gas Hydrate Phase Equilibrium in Porous
Media: Mathematical Modeling and
Correlation(Amir H. Mohammadi, I&EC Research,
2011)
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 23 항

심사관 : 인치현

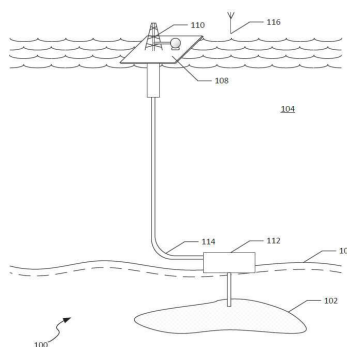
(54) 발명의 명칭 퇴적물 내의 포접 화합물의 존재를 위한 최소 공극률 결정 방법 및 시스템

(57) 요약

포접 화합물이 존재하기 위해 필요한 조건들이 존재하는지를 결정하기 위한 방법 및 시스템이 개시된다. 하나의 방법은, 최소한 부분적으로 온도가 포접 화합물의 3-상 평형 온도에 도달하는 깊이를 기준으로, 포접 화합물 안정 영역의 두께를 결정하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 또한 포접 화합물 안정 영역의 깊이의 범위에 대한 온

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



도 및 3-상 평형 온도를 계산하는 단계, 및 상기 깊이의 범위 중 각 깊이에서의 최소 공극 크기를 결정하는 단계로서, 상기 최소 공극 크기는 포집 화합물의 지정된 포화도를 허용하고 최소한 부분적으로는 상기 온도 및 3-상 평형 온도를 기준으로 하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 각 깊이에서의 최소 공극 크기를 최소 공극률로 전환하는 단계를 추가로 포함한다.

(52) CPC특허분류

E21B 43/01 (2013.01)

G01K 13/10 (2013.01)

G01N 33/24 (2019.01)

G01V 9/00 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

Gas hydrate property measurements in porous sediments with resonant ultrasound spectroscopy(B. P. McGrail, Journal of G.R, 2007)

The influence of temperature, pressure, salinity and capillary force on the formation of methane hydrate(Zhenhao, Geoscience Frontiers, 2011)

Hydrate phase equilibria in porous media: Effect of pore size and salinity(Ostergaard, TERRA NOVA, 2002)

JP2007304100 A

US20080195320 A1

명세서

청구범위

청구항 1

포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재하는지를 결정하는 방법으로서, 하기를 포함하는 방법:

최소한 부분적으로 온도가 포접 화합물의 3-상 평형 온도에 도달하는 깊이를 기준으로, 포접 화합물 안정 영역 (clathrate stability zone)의 두께를 결정하는 단계;

포접 화합물 안정 영역의 깊이의 범위에 대한 온도 및 3-상 평형 온도를 계산하는 단계;

상기 깊이의 범위 중 각 깊이에서의 최소 공극 크기를 결정하는 단계로서, 상기 최소 공극 크기는 포접 화합물의 지정된 포화도를 허용하고 최소한 부분적으로 상기 온도 및 3-상 평형 온도를 기준으로 하는 단계;

각 깊이에서의 최소 공극 크기를 최소 공극률로 전환하는 단계;

상기 공극률이 최소 공극률보다 큰지 결정하는 상기 공극률 결정 구성요소에 의해 얻어진 공극률과 각 최소 공극률을 비교하여, 포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재하는지를 결정하는 단계; 및

적어도 부분적으로 포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재하는 위치로 결정된 것에 기초한 위치에 탄화수소 생산시스템을 설치하는 단계.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 온도가 최소한 부분적으로는 지열 구배(geothermal gradient) 및 해저에서 관측된 온도를 근거로 결정되는 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 3-상 평형 온도가 최소한 부분적으로는 해저의 깊이, 유체 정역학적 구배(hydrostatic gradient) 및 해수 염도에 근거하는 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

포접 화합물이 존재할 가능성이 있는 것으로 고려되는 위치와 가까운 곳에서 관측된 온도를 수득하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

포접 화합물 안정 영역의 두께를 결정하는 단계가 최소한 부분적으로는 탐지될 포접 화합물을 기준으로 하는 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

포접 화합물 안정 영역의 지표면 아래 퇴적물에서 예상되는 최대 공극 크기를 결정하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 최대 공극 크기를 기준으로 공극률을 결정하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 최소 공극률을 상기 공극률과 비교하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

다양한 크기의 구형 입자들의 임의 분포 중 최대 공극 크기를 탐지하기 위해 사용되는 시뮬레이션들에서 유추된 모형으로부터 상기 최대 공극 크기가 결정되는 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 시뮬레이션들 중 각 시뮬레이션이 하기를 포함하는 방법:

각 입자가 하나 이상의 이웃 입자와 접촉할 때까지 각 입자 위치에서의 입자들의 성장을 모형화함으로써, 복수의 임의-선택된 입자 위치들 중 각각에서 입자들을 형성하는 단계; 및

입자에 의해 점유되지 않은 각 지점에, 구체 내접시키고, 상기 구체의 크기를 결정하는 단계; 및

각각의 점유되지 않은 지점에 내접된 구체들 중에서 구체의 최대 크기를 결정함으로써, 최대 공극 크기 위치를 찾아내는 단계.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 시뮬레이션들이 복수의 상이한 평균 입자 크기를 갖는 입자들을 사용하여 수행되는 방법.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 구체의 최대 크기가 최대 공극 크기에 상응하는 방법.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 공극률이 상기 시뮬레이션에 연관된 평균 입자 크기를 근거로 하는 방법.

청구항 14

제 6 항에 있어서,

최대 공극 크기를 결정하는 단계가, 지표면 아래 퇴적물에 의해 반사된 음파의 감쇠(attenuation)를 기준으로 공극 크기를 추정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

포집 화합물 안정 영역에서 수득된 샘플의 물리적 측정으로부터 결정된 최대 공극 크기로부터 수득된 공극률과 최소 공극률을 비교하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

포접 화합물 안정 영역의 공극 크기와 관찰가능한 특징들 사이의 경험적 상관 관계를 근거로 경험적으로 결정된 최대 공극 크기로부터 수득된 공극률과 최소 공극률을 비교하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 17

제 1 항에 있어서,

포접 화합물의 복수의 상이한 지정된 포화도 각각에 대해, 깊이의 범위 중 각 깊이에서 최소 공극 크기를 결정하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 18

제 1 항에 있어서,

포접 화합물의 지정된 포화도를 허용하는 깊이의 범위 중 하나의 깊이에서 최소 공극 크기를 결정하는 단계는, 최소한 부분적으로는 상기 깊이에서의 3-상 온도, 기하학적 인자(geometric factor), 고체-액체 계면의 계면 에너지, 고체 상(solid phas)에서의 포접 화합물의 벌크 밀도(bulk density), 고체 상 포접 화합물의 용해열 및 공극 반경에 의존하는 방법.

청구항 19

포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재하는지를 결정하는 전산 시스템으로서, 하기를 포함하는 시스템:

포접 화합물의 존재 가능성이 결정되어야 할 포접 화합물 안정 영역의 깊이 범위 중 복수의 깊이에서 공극률을 설정하도록 구성된 공극률 결정 구성요소;

포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재하는지를 결정하도록 구성된 컴퓨팅 시스템으로서, 프로그램 명령어가 실행되는 경우 하기를 하도록 프로그램 명령어를 실행하도록 구성된 컴퓨팅 시스템:

최소한 부분적으로는 포접 화합물의 3-상 평형 온도에 도달하는 깊이를 기준으로 포접 화합물 안정 영역의 두께를 결정함;

상기 포접 화합물 안정 영역의 복수의 깊이에 대한 온도 및 3-상 평형 온도를 계산함;

상기 깊이의 범위 중 복수의 깊이의 각각에서의 최소 공극 크기를 결정하는 것으로서, 상기 최소 공극 크기는 포접 화합물의 지정된 포화도를 허용하고 최소한 부분적으로는 상기 온도 및 3-상 평형 온도를 기준으로 함;

복수의 깊이 중 적어도 하나에서의 최소 공극 크기를 최소 공극률로 전환함;

상기 공극률이 최소 공극률보다 큰지 결정하는 상기 공극률 결정 구성요소에 의해 얻어진 공극률과 각 최소 공극률을 비교하여, 포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재하는지를 결정함; 및

적어도 부분적으로 포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재하는 위치로 결정된 것에 기초하여, 탄화수소 생산 시스템의 배치를 위한 위치를 결정하여 출력함.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 컴퓨팅 시스템이 공극률 결정 구성요소에 의해 수득된 공극률들과 각 최소 공극률을 비교하여, 상기 공극률들이 상기 최소 공극률들보다 더 큰지의 여부를 결정함으로써, 포접 화합물이 존재할 가능성이 있는 조건들이 존재한다는 것을 나타내도록 추가로 구성되는 전산 시스템.

청구항 21

제 19 항에 있어서,

상기 공극률 결정 구성요소가, 다양한 크기의 구형 입자들의 임의 분포에서의 최대 공극 크기를 탐지하는 시뮬레이션들로부터 모형을 유추하도록 구성된 시뮬레이터를 포함하고, 상기 모형은 상기 최대 공극 크기를 공극률에 연관시키는 전산 시스템.

청구항 22

실행되는 경우, 컴퓨팅 시스템이 포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재하는지를 결정하는 방법을 수행하게 하는 컴퓨터-실행 가능 명령어를 포함하는 일시적이지 않은 컴퓨터 판독 가능 저장 매체로서, 상기 방법을 하기를 포함하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체:

최소한 부분적으로 온도가 포접 화합물의 3-상 평형 온도에 도달하는 깊이를 기준으로, 포접 화합물 안정 영역 (clathrate stability zone)의 두께를 결정하는 단계;

포접 화합물 안정 영역의 깊이의 범위에 대한 온도 및 3-상 평형 온도를 계산하는 단계;

상기 깊이의 범위 중 각 깊이에서의 최소 공극 크기를 결정하는 단계로서, 상기 최소 공극 크기는 포접 화합물의 지정된 포화도를 허용하고 최소한 부분적으로 상기 온도 및 3-상 평형 온도를 기준으로 하는 단계;

각 깊이에서의 최소 공극 크기를 최소 공극률로 전환하는 단계;

상기 포접 화합물 안정 영역에서 각 최소 공극률을 복수 깊이에서의 공극률과 비교하여, 상기 복수 깊이에서의 공극률이 상기 최소 공극률보다 큰지 여부를 결정하고, 이에 따라 포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재하는지를 나타내는 단계; 및

적어도 부분적으로 포접 화합물이 존재하기 위한 조건들이 존재한다는 결정에 기초하여, 탄화수소 생산 시스템의 배치를 위한 위치를 결정하여 출력하는 단계.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 컴퓨팅 시스템이, 포접 화합물 안정 영역 내부의 위치에서의 최소 공극률을 최대 공극률과 비교함으로써 포접 화합물이 존재할 가능성이 있는 조건들이 존재하는지를 결정하도록 추가로 구성되는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본원은 2012년 11월 16일 출원된 미국 가출원번호 제61/727,555호 및 2012년 11월 16일 출원된 미국 가출원번호 제61/727,560호의 우선권을 주장하며, 각각의 개시 내용은 전체가 본원에 참조로 포함된다.

[0003] 본원은 일반적으로 매체 내의 포접 화합물(clathrates)의 존재를 위한 최소 공극률 결정에 관한 것이다. 특히, 본원은 예컨대 공극률 및 관찰 가능한 특징들 사이의 경험적 상관 관계를 이용하여, 퇴적물 내의 포접 화합물의 존재를 위한 최소 공극률 결정하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] "포접 화합물"은 일반적으로 제 1 분자 성분(호스트 분자)로 이루어진 격자 구조가 결정-유사 구조와 닮은 형태인 하나 이상의 다른 분자 성분(게스트 분자)을 포획하거나 가두는 비화학양론적(non-stoichiometric) 준안정 상태(metastable) 물질을 지칭한다. 포접 화합물은 때로 내포 화합물, 하이드레이트, 가스 하이드레이트, 메탄 하이드레이트, 천연 가스 하이드레이트, CO₂ 하이드레이트 등으로 지칭된다.

[0005] 탄화수소 탐사 및 개발 분야에서, 포접 화합물은 특별히 관심대상이다. 예를 들어, 포접 화합물은 물 호스트 분자 격자가 하나 이상의 유형의 탄화수소 게스트 분자(들)를 가두는 형태로 존재한다. 이와 같은 탄화수소 포접 화합물은, 심해 및 영구동토층 퇴적물과 같이, 물과 탄화수소 분자들이 존재하는 비교적 저온 및 고압의 환경에서 자연적으로 발생한다. 보다 낮은 온도의 포접 화합물은 보다 낮은 압력에서 안정적으로 유지되고, 역으로 보다 높은 온도의 포접 화합물은 안정적으로 유지되기 위해 보다 높은 압력이 필요하다.

[0006] 이론적으로 및 실험적으로, 공극 크기가 보다 큰 퇴적물에 포접 화합물이 우선적으로 형성된다는 것이 관찰되었다. 이러한 현상은 깁스-톰슨 효과(Gibbs-Thomson effect)에 기인하는 것으로, 이는 미세-입자 퇴적물(fine-grained sediments)의 공극 공간과 같은 제한된 공간에서의 고체의 결정핵형성을 억제한다. 상기 깁스-톰슨 효과

과는 상이한 입자(grain) 크기를 갖는 해양 퇴적물에서의 포접 화합물 분포의 관찰 결과를 설명하는 데 사용될 수 있다. 그러나, 깃스-툼슨 효과를 연구하는 기존의 작업은 공극 크기의 관점에서 알려진 포접 화합물의 존재에 대한 원인을 설명하는 데에 유일하게 초점을 맞춰왔다. 지구 물리학적 탐사에 대한 보다 더 유용한 설명은 공극물에 관한 것일 것이다. 그러나, 공극물과 공극 크기의 관계는 복잡하고, 입자 형태 및 패킹(packing)에 의존한다.

[0007] 이에 따라, 포접 화합물의 형성을 위한 조건들이 존재하는지를 탐지하는 방법 및 시스템의 개선이, 특히 탄화수소 탐사의 영역에서, 바람직할 것이다.

발명의 내용

[0008] 요약

[0009] 하기 개시 내용에 따르면, 상기 및 기타 문제점들이 하기에 의해 해결된다:

[0010] 제 1 양태에서, 포접 화합물의 존재를 위한 조건들이 존재하는지를 결정하는 방법이 개시된다. 상기 방법은, 최소한 부분적으로는, 온도가 포접 화합물의 3-상 평형 온도(three-phase equilibrium temperature)에 도달하는 깊이를 기준으로 포접 화합물 안정 영역(clathrate stability zone)의 두께를 결정하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 또한, 포접 화합물 안정 영역의 범위의 깊이에 대한 온도 및 3-상 평형 온도를 계산하는 단계, 및 상기 범위의 깊이들 중 각 깊이에서의 최소 공극 크기를 결정하는 단계로서 상기 최소 공극 크기는 포접 화합물의 지정된 포화도를 허용하고, 최소한 부분적으로는 상기 온도 및 3-상 평형 온도를 기준으로 함)를 포함한다. 상기 방법은 각 깊이에서의 최소 공극 크기를 최소 공극물로 전환하는 단계를 추가로 포함한다.

[0011] 제 2 양태에서, 포접 화합물의 존재를 위한 조건들이 존재하는지를 결정하는 전산 시스템이 개시된다. 상기 시스템은 가능한 포접 화합물의 존재가 결정될 포접 화합물 안정 영역의 깊이의 범위 중 복수의 깊이에서 공극물을 성립시키도록 구성된 공극물 결정 구성요소를 포함한다. 상기 시스템은 또한 포접 화합물의 존재를 위한 조건들이 존재하는지를 결정하도록 구성된 컴퓨팅 시스템을 포함한다. 상기 컴퓨팅 시스템은, 실행될 경우 상기 컴퓨팅 시스템이 최소한 부분적으로는 온도가 포접 화합물의 3-상 평형 온도에 도달하는 깊이를 기준으로 포접 화합물 안정 영역의 두께를 결정하고, 포접 화합물 안정 영역의 복수의 깊이에 대한 온도 및 3-상 평형 온도를 계산하게 하는 명령어를 실행하도록 구성된다. 상기 컴퓨팅 시스템은 상기 범위의 깊이들 중 복수의 깊이들 중 각각에서 최소 공극 크기를 결정하고(상기 최소 공극 크기는 포접 화합물의 지정된 포화도를 허용하고, 최소한 부분적으로는 상기 온도 및 3-상 평형 온도를 기준으로 함), 복수의 깊이들 중 각각에서의 최소 공극 크기를 최소 공극물로 전환하도록 추가로 구성된다.

[0012] 제 3 양태에서, 실행될 경우, 컴퓨팅 시스템이 포접 화합물의 존재를 위한 조건들이 존재하는지를 결정하는 방법을 수행하게 하는 컴퓨터-실행가능 명령어를 포함하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체가 개시된다. 상기 방법은 최소한 부분적으로는 온도가 포접 화합물의 3-상 평형 온도에 도달하는 깊이를 기준으로 포접 화합물 안정 영역의 두께를 결정하는 단계 및 포접 화합물 안정 영역의 깊이의 범위에 대한 온도 및 3-상 평형온도를 계산하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 또한 상기 범위의 깊이들 중 각 깊이에서의 최소 공극 크기를 결정하는 단계를 포함하는데, 상기 최소 공극 크기는 포접 화합물의 지정된 포화도를 허용하고 최소한 부분적으로는 상기 온도 및 3-상 평형 온도를 기준으로 한다. 상기 방법은 각 깊이에서의 최소 공극 크기를 최소 공극물로 전환하는 단계를 추가로 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 하나 이상의 포접 화합물 저장소로부터 탄화수소를 수득하여 가공처리하는 생산 시설을 포함하는 해상(offshore) 탄화수소 생산 시스템의 개략도이고;

도 2는 하나 이상의 포접 화합물 저장소로부터 탄화수소를 수득하여 가공처리하는 생산 시설을 포함하는 지상(onshore) 탄화수소 생산 시스템의 개략도이고;

도 3은 지정된 농도의 포접 화합물의 존재 확률이 계산될 수 있는 컴퓨팅 시스템의 개략도이고;

도 4는 본원의 개시의 예시적 구현예에 따라, 포접 화합물의 존재를 위한 조건들이 존재하는지를 결정하는 예시적 방법을 나타내는 흐름도이고;

도 5는 퇴적물 입자와 포접 화합물 형성을 시뮬레이션하는 내접구(inscribed spheres)의 상대적 크기 및 매체의

공극률 사이의 상관 관계를 나타내는 도표이고;

도 6은 평균 입자 크기를 1 마이크로론으로 가정할 때, 상이한 깊이에서 특정 농도의 포접 화합물이 형성될 수 있는 최소 공극률을 보여주는 실험 결과를 나타내는 도표이고;

도 7은 평균 입자 크기를 10 마이크로론으로 가정할 때, 상이한 깊이에서 특정 농도의 포접 화합물이 형성될 수 있는 최소 공극률을 보여주는 실험 결과를 나타내는 도표이고;

도 8은 평균 입자 크기를 50 마이크로론으로 가정할 때, 상이한 깊이에서 특정 농도의 포접 화합물이 형성될 수 있는 최소 공극률을 보여주는 실험 결과를 나타내는 도표이고; 그리고

도 9는 평균 입자 크기를 100 마이크로론으로 가정할 때, 상이한 깊이에서 특정 농도의 포접 화합물이 형성될 수 있는 최소 공극률을 보여주는 실험 결과를 나타내는 도표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 위에서 간략히 기술된 바와 같이, 본 발명의 구현에는 특정 위치에서 지정된 포화도의 포접 화합물의 존재가 존재할 수 있는 최소 공극률을 결정하는 방법 및 시스템에 관한 것이다. 특히, 본원에서 논의되는 구현에는 기존의 관찰가능한 현상들과의 경험적 상관 관계들을 사용하여 공극률 계산에 대한 근거를 제공하고, 결과적으로 충분한 포화도의 포접 화합물의 존재 확률을 제공한다.
- [0015] 본 개시의 목적을 위해, 용어 "포접 화합물"은 모든 가능한 조합으로, 임의의 및 모든 유형의 격자(호스트) 분자(들) 및 임의의 및 모든 유형의 가두어진(게스트) 분자(들)을 포함한다. 포접 화합물은 예를 들어 다양한 포접 화합물 격자 구조 유형들 사이의 전이; 형성, 안정 상태 및 해리, 및 하나 이상의 기타 유형(들)의 분자에 의한 하나 이상의 유형(들)의 분자의 치환을 포함할 수 있다.
- [0016] 본원에 기술된 방법 및 시스템은 포접 화합물이 특정 퇴적물 지역, 예컨대 해양 퇴적물에 존재할 것으로 기대되어야 하는지를 신속하게 결정하게 하고, 따라서 포접 화합물 광상(deposit)의 자원 평가 및 지구 물리학적 모형화를 위한 탐사 도구를 제공한다. 본원에 기술되는 방법 및 시스템은 증가된 정확도로 자원 평가를 제공함으로써, 지표면 아래의 불확실성을 감소시키고 지구 물리학적 모형화 기술을 개선시킨다.
- [0017] 도 1은 해상 또는 심해 탄화수소 생산 시스템(100)의 예시적 구현예의 개략도이다. 시스템(100)은 해수(104) 및 해저(106) 아래 배치된 포접 화합물 저장소(clathrate reservoir)(102)를 포함한다. 상기 포접 화합물 저장소(102)는 물과 탄화수소, 주로 천연 가스를 생산한다. 도시된 구현예에서, 해상 플랫폼(108)은 천연 가스로부터 적어도 부분적으로 액체들, 물 및/또는 오일을 분리하는데 사용되는 생산 시설(110)을 지지한다.
- [0018] 상기 예시적 구현예에서, 포접 화합물 저장소(102)는 타이백(tieback)(114)에 의해 생산 시설(110)에 연결된 해저 유정(subsea well)(112)과 유체 연통(fluid communication)되는 것으로 도시되어 있다. 포접 화합물 저장소(102)는 주로 천연 가스와 물의 혼합물을 생산하고, 이는, 혼합물 내에 함유된 상당한 양의 오일이 존재하는 경우 오일, 그리고 천연 가스와 물을 분리하기 위해 생산 시설(110)로 이송된다.
- [0019] 도 1에 나타난 구현예에서, 파동 생성 및 탐지 시스템(116)이 전체 탄화수소 생산 시스템(100)의 설치 이전에 사용될 수 있으며, 해저(106)를 따라 특정 위치에 상기 시스템(100)을 위치시키기 위해 사용될 수 있음이 주목된다. 파동 생성 및 탐지 시스템(116)은, 예를 들어, 지진파 또는 기타 음향 파동 생성 시스템, 또는 해수(104) 및 해저(106)를 관통하여 반사된 파동을 포획하고 그림으로써 이동 속도를 기준으로 파동들이 통과하여 이동한 매체들의 차이점을 탐지할 수 있는 파동을 생성할 수 있는 기타 시스템일 수 있다.
- [0020] 도 1에 나타난 생산 시스템(100)은 단지 예시적 구현예일뿐이라는 것을 유의해야 한다. 당해 기술 분야의 숙련가는 다수의 이와 같은 포접 화합물 저장소 및 관련 유정(wells)을 결합한 탄화수소 생산 시스템, 또는 포접 화합물 저장소 및 관련 유정과 종래의 탄화수소 저장소 및 유정 시스템의 조합을 제공하는 것이 본 발명의 범위 내라는 것을 이해할 것이다. 이와 같은 시스템의 한 예가 2008년 8월 25일 출원된 미국 특허 제8,232,428호에 개시되어 있고, 상기의 개시 내용은 전체가 본원에 참조로 포함된다.
- [0021] 도 2는 탄화수소 생산 시스템(200)의 또 다른 예시적 구현예의 개략도로, 이 경우에는 해상에 기반을 둔 것이 아닌 지상에 위치한 것이다. 생산 시스템(200)은 포접 화합물 저장소(202)를 포함한다. 영구동토층(204)에 북극용 플랫폼(206)이 배치된다. 일반적으로 생산 시스템(110)과 유사한 생산 시설(208)이 북극용 플랫폼(206) 위에 위치한다. 생산 시설(208)이 포접 화합물 저장소(202)로부터 수득된 천연 가스, 오일 및 물을 분리 및 가공 처리하는 데 사용된다. 생산 수송관(210)이, 포접 화합물과 물의 혼합물을 포접 화합물 저장소(202)로부터 북극용

플랫폼(206) 및 생산 시설(208)로 유동적으로 이송하는데 사용된다. 일부 경우에, 상기 혼합물은 적은 양의 오일을 포함할 수 있다.

[0022] 도 1의 탄화수소 생산 시스템(100)과 마찬가지로, 도 2의 지상 배열의 맥락에서, 도 1의 시스템(116)과 유사한 파동 생성 및 탐지 시스템(216)은 전체 탄화수소 생산 시스템(200)의 설치 전에 사용될 수 있고, 특정 위치에 상기 시스템(200)을 위치시키기 위해 사용될 수 있다는 것이 주목된다. 파동 생성 및 탐지 시스템(216)은 임의의 다양한 유형의 지진, 음향 또는 기타 시스템을 포함할 수 있으며, 상기 기타 시스템은 영구동토층(204)을 관통하여 반사된 파동을 포획하고 그림으로써 이동 속도를 기준으로 파동들이 통과하여 이동한 매체들의 차이점을 탐지할 수 있는 파동을 생성할 수 있는 시스템이다. 도 2의 예에서, 지상의 지표면 아래 퇴적물에서 발견되는 변화와 비교할 때의 해수의 상대적인 균일성에 근거하여, 보다 얕은 곳의 밀도에서 더 큰 변화가 있을 수 있다는 것이 주목된다. 어떤 경우에서든, 이와 같은 데이터는 아래에서 보다 심도 있게 논의되는 바와 같이, 본 발명의 개시 내용의 일부 구현예에서 사용하기 위해 포획될 수 있다.

[0023] 이제 도 3을 참조하면, 포접 화합물의 존재를 위한 조건들이 존재하는지를 계산하는데 사용될 수 있는 예시적 컴퓨팅 시스템(300)이 개시되어 있으며, 도 1~2에 도시된 것과 같은 생산 시스템을 위치시키는데 사용될 수 있다. 일반적으로, 컴퓨팅 시스템(300)은 데이터 버스(data bus)(306)를 통해 메모리(304)에 통신 가능하게 연결된 프로세서(302)를 포함한다. 프로세서(302)는 수학적 업무 및 통신 업무와 같은 다양한 업무를 수행하도록 컴퓨터-판독 가능 명령어들을 실행시킬 수 있는 임의의 다양한 유형의 프로그래밍 가능 회로일 수 있다.

[0024] 메모리(304)는, 예컨대 다양한 유형의 컴퓨터-판독 가능 또는 컴퓨터 저장 매체를 사용하는 임의의 다양한 메모리 장치를 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체 또는 컴퓨터-판독 가능 매체는 명령어 실행 시스템, 기구 또는 장치에 의해 또는 이들과 연결하여 사용하기 위한 프로그램을 함유하거나 또는 저장하는 임의의 매체일 수 있다. 본 발명의 개시 내용의 맥락에서, 컴퓨터 저장 매체는 최소한 일부 실제 구성요소를 포함하고, 즉 일시적인 또는 과도적인 신호들만으로는 구성되지 않는다. 도시된 구현예에서, 메모리(304)는 포접 화합물 포화 확률 분석 애플리케이션(308)을 저장한다. 상기 포접 화합물 포화 확률 분석 애플리케이션(308)은, 실행될 경우, 지정된 농도의 포접 화합물의 존재를 위한 조건들이 존재하는지를 계산하거나 또는 결정하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 상기 애플리케이션(308)은 포접 화합물 안정 영역의 두께, 즉 포접 화합물 형성이 가능하도록 하는 압력 및 온도에서의 깊이의 범위를 계산할 수 있다. 상기 애플리케이션(308)은 또한 계산된 포접 화합물 안정 영역 내부의 포접 화합물 상들(clathrate phases)의 현장(in situ) 온도 및 3-상 평형 온도를 계산할 수 있다.

[0025] 일부 구현예에서, 상기 애플리케이션(308)은 최소 공극 크기 결정 구성요소(310), 최대 공극 크기 추정 구성요소(312), 및 임의로는 3-차원 모형화 구성요소(314)를 포함하는 수많은 컴퓨터-실행가능 코드 구성요소들을 포함한다. 최소 공극 크기 결정 구성요소(310)는, 적어도 부분적으로 현장 온도 및 3-상 평형 온도를 기준으로, 지정된 포접 화합물 포화를 뒷받침하는 최소 공극 크기를 결정하도록 구성된다. 상기 지정된 포접 화합물 포화는, 예를 들면, 사용자에게 의해 선택가능한 바람직한 포접 화합물 포화일 수 있다. 일부 구현예에서, 상기 최소 공극 크기 결정 구성요소(310)는 또한 애플리케이션(308) 전체를 대신하여 포접 화합물 안정 영역의 두께 및 3-상 및 현장 온도를 계산한다. 이와 같은 경우에, 상기 안정 영역의 두께는 탐지될 특정 유형의 포접 화합물(예컨대, 메탄 하이드레이트 등)을 기준으로 할 수 있고, 적어도 부분적으로 (예컨대, 상이한 시험 유형 또는 지역의 기타 연혁적 지식으로부터) 지표면 아래 깊이의 범위에 걸쳐 관찰된 온도 및 압력을 기준으로 할 수 있다. 상기 최소 공극 크기 결정 구성요소(310)는 또한 소정의 농도의 포접 화합물이 형성될 수 있는 최소 공극 반경을 계산하도록 구성된다. 이러한 계산은, 예를 들면, 깁스-톰슨(Gibbs-Thompson) 효과에 근거할 수 있다.

[0026] 깁스-톰슨 효과는 제한된 공간 영역 내에서의 액체 용액에서의 고체 결정핵형성의 응고점 강하이다. 다시 말해서, 상기 효과는 조건들이 겪는 한정된 공간으로 인한 적절한 온도/압력 조건에서의 고체 형성의 어려움을 기술한다. 본원에 적용된 바와 같이, 깁스-톰슨 효과로 잘 알려진 응고점의 변화는, 본원에서 $\Delta T_f [K]$ 로 언급되며, 하기 식으로 표현된다:

$$\Delta T_f = -T_{f,h} (F \gamma_{sl} / r_p \Delta H_{sl})$$

[0027]

[0028] 상기 방정식에서, $T_{f,h}$ 는 벌크 용액(bulk solution)[K]의 응고점이고, F는 기하학적 인자(geometric factor)이고, γ_{sl} 은 고체-액체 계면의 계면 에너지[J/m²]이고, r는 한정된 공간의 공간 규모(spatial dimension)[m]이고,

ρ_s 는 고체 상(solid phase)의 벌크 밀도[kg/m³]이고, ΔH_{sl} 은 고체 상의 용해열[J/mol]이다. 포접 화합물-함유 퇴적물의 경우, $T_{f,h}$ 는 고체 포접 화합물이 용해된 가스가 없는 기체의 3-상 평형 온도를 나타내고, r 은 공극 반경이다. 고려되는 포접 화합물이 메탄 하이드레이트일 경우, 상기 기재된 방정식에 포함된 관련 변수들은 하기를 포함한다: $\gamma_{sl} = 0.27 \text{ J/m}^2$, $\rho_s = 930 \text{ kg/m}^3$ 및 $\Delta H_{sl} = 54.5 \text{ kJ/mol}$. 추가적으로, 변수 F 는 2이고, 이는 일반적으로 원통형 및 구형 공극 모두를 대표하는 값이다. 본 발명의 개시 내용의 공극 퇴적물에 적용된 깁스-톰슨 효과는 도 4와 관련하여 하기에서 논의된다.

[0029] 최대 공극 크기 추정 구성요소(312)는 포접 화합물 안정 영역에서 기대되는 최대 공극 크기를 경험적으로 결정하도록 구성된다. 다시 말해서, 상기 구성요소(312)는 예를 들어, 도 1-2와 관련하여 위에서 논의된 바와 같이, 음과 또는 지진과 전달의 사용 및 반사된 파동의 포착과 같이, 직접적인 측정 이외의 이용할 수 있는 관찰 또는 탐지 프로세스를 근거로 최대 공극 크기를 추정하도록 구성된다.

[0030] 일부 구현예에서, 상기 애플리케이션(308)은 3-차원 데이터 모형화 구성요소(314)를 추가로 포함할 수 있다. 3-차원 데이터 모형화 구성요소(314)는 특정 체적에서 다양한 크기의 입자들의 분포를 모형화하도록 구성될 수 있고, 또한 최대 공극 크기 추정 구성요소(312)에 의해 사용됨으로써 3-차원 데이터 모형으로 만든 모형을 근거로 최대 공극 크기를 결정할 수 있다. 이러한 모형화와 관련된 추가 상세 내용은, 발명의 명칭이 "퇴적물 샘플의 물리적 측정을 이용하여 퇴적물의 공극 크기를 결정하는 방법 및 시스템(Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment Using Physical Measurement of Sediment Samples)" 이고 2012년 11월 16일에 출원된 미국 가출원번호 제61/727,567호(Docket No. T-9173), 발명의 명칭이 "수치 모형화를 이용하여 퇴적물의 공극 크기를 결정하는 방법 및 시스템(Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment Using Numerical Modeling)" 이고 2012년 11월 16일에 출원된 미국 가출원번호 제61/727,569호(Docket No. T-9174), 및 발명의 명칭이 "퇴적물의 공극 크기를 결정하는 방법 및 시스템(Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment)" 이고 상기와 동일자로 출원된 미국 특허출원에서 보다 자세히 논의되어 있으며, 각각의 개시내용은 전체가 참조로 포함된다.

[0031] 임의로는, 일부 구현예에서, 메모리(304)는 또한 경험적 데이터 분석 모듈(316) 및 물리적 측정 데이터 모듈(318)을 포함할 수 있다. 경험적 데이터 분석 모듈(316)은 퇴적물 특성들의 하나 이상의 모형을 함유할 수 있고, 특정 유형 또는 샘플의 퇴적물과 관련한 데이터를 포함하거나 취득할 수 있다. 예를 들면, 상기 경험적 데이터 분석 모듈(316)은 최대 공극 크기 추정 구성요소(312)와 함께 사용되어, 예컨대 연혁 데이터(historical data), 또는 샘플 데이터, 또는 기타 유형의 경험적 데이터를 근거로 최대 공극 크기를 결정할 수 있다.

[0032] 물리적 측정 데이터 모듈(318)은, 본원에 기술된 바와 같이, 지표면 아래 퇴적물의 물리적 측정치를 취득하고 임의의 다양한 물리적 측정 프로세스를 수행할 수 있다. 이는 특정 샘플에서의 입자 크기의 분포를 결정하기 위한 임의의 다양한 직접적인 물리적 측정, 예컨대 레이저 입자 크기 분석, 스톡 침강 분석, 영상 분석 또는 기타 기법들을 포함할 수 있다.

[0033] 또한, 상기 애플리케이션(308)은 비교 구성요소를 포함하거나, 그렇지 않으면 지정된 포접 화합물 포화를 뒷받침하는 최소 공극 크기와 측정된 최대 공극 크기를 비교하여 지정된 포접 화합물 포화가 포접 화합물 안정 영역에서 가능한지의 여부를 결정하도록 구성될 수 있다. 이와 같은 구성요소들(310 및 312)의 출력값의 비교를 근거로, 이와 같은 포접 화합물의 농도가 가능한지, 그리고 그로 인해서 직접적인 지하 탐사를 추진할 가치가 있는지 여부가 결정될 수 있다.

[0034] 도 3을 전반적으로 참조하면, 기타 모듈들 또는 특징들이 컴퓨팅 시스템(300) 전체, 또는 애플리케이션(308)과 같은 애플리케이션에 포함될 수 있다는 것이 주목된다. 더욱이, 일부 구성요소들 또는 모듈들이 명시된 기능을 포함한다는 것이 주지된다고 하더라도, 이러한 기능성은 또한 일반적으로 애플리케이션(308) 전체 내에 존재한다고 여겨지거나, 또는 다중처리 시스템(multi-processor system) 또는 다중컴퓨터 네트워크(multi-computer network)에 걸쳐 실행될 수 있다.

[0035] 이제 도 4를 참조하면, 포접 화합물의 존재에 필요한 최소 공극률을 결정하는 예시적 방법(400)을 나타내는 흐름도가 도시되어 있다. 특히, 상기 방법(400)은 일반적으로, 입자 크기와 공극 크기의 경험적 상관 관계를 이용하여, 구형으로 모형화된 입자-크기의 퇴적물 입자들의 패키징과 관련하여 사용가능하다.

[0036] 도시된 구현예에서, 상기 방법(400)은 알려진 해저 온도 및 깊이뿐만 아니라 알려진 지열 구배, 염도 및 포접 화합물 조성을 고려하여, 포접 화합물 안정 영역의 두께를 계산함으로써 개시된다(단계 402). 특히, 상기의 특

징들 각각은 직접적인 측정에 의해 식별가능하며, 이들에 대한 정확한 두께가 계산될 수 있다. 일반적으로 이러한 영역은 깊이가 다양할 수 있지만, 전형적인 포접 화합물 안정 영역은 약 800 미터 이하의 깊이에서 형성된다.

[0037] 상기 방법(400)은 또한 용해된 기체상 포접 화합물 상들(dissolved, gaseous, and clathrate phases)의 현장 온도 및 3-상 평형 온도를 안정 영역에 걸쳐 계산하여, 상기 포접 화합물이 존재하거나 존재하지 않는 지점을 결정하는 단계(단계 404)를 포함한다. 다양한 구현예에서, 상기 계산된 온도는 포접 화합물 안정 영역의 다양한 깊이에서 결정되는데, 예를 들어, 다른 위치에서의 지표면 아래 깊이의 범위에 걸쳐 관측된 온도 및 압력에 근거하여 결정된다. 일부 구현예에서, 상기 방법(400)은 또한 해저, 또는 그렇지 않으면 계산된 포접 화합물 안정 영역에 가까운 지점에서의 온도를 직접적으로 측정하는 것을 포함할 수 있다.

[0038] 일부 구현예에서, 3-상 평형 온도는 최소한 부분적으로는 해저 깊이, 유체 정역학적 구배(hydrostatic gradient) 및 해수 염도를 근거로 한다. 더욱이, 일부 구현예에서, 상기 현장 온도는 해저 온도 및 지열 구배로부터 계산되고, 상기 3-상 평형 온도는 Duan, Z.H., et al. 의 ["The Prediction of Methane Solubility in Natural Waters to High Ionic Strength from 0 to 250C and from 0 to 1600 Bar", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, 1451-1460, 1992] 에서 제공된 상태 방정식으로부터 계산된다. 상기 계산은 해저 깊이를 이용하고, 유체 정역학적 구배 및 해수 염도를 취한다. 상기 두 온도가 동일한 깊이는 함수의 하나의 근에 다가가기 위해 반복적인 프로세스를 사용하는 Newton-Raphson 알고리즘으로 반복적으로 결정된다. 일부 구현예에서, ["Adaptive Newton-Based Multivariate Smoothed Functional Algorithms for Simulation Optimization", Bhatnagar, S., *Jour. ACM Trans. on Mod. and Comp. Sim.*, Vol. 18, Issue 1, (2007)] 에 기술된 방법을 따른다. 현장 온도와 3-상 평형 온도가 동일한 깊이를 결정하는 다른 유형의 프로세스들 역시 사용될 수 있다.

[0039] 일단 포접 화합물 안정 영역의 두께와 현장 온도 및 3-상 평형 온도가 알려지면, 포접 화합물 안정 영역을 구성하는 깊이의 범위에 걸쳐 최소 공극 크기 결정 구성요소(310)가 사용자-선택 포접 화합물 포화를 허용하는 최소 공극률을 계산한다(단계 406). 일부 구현예에서, 이는 깁스-톰슨 효과를 기술하는 방정식들을 사용하여, 현장 온도와 3-상 평형 온도 사이의 차이에서 계산된다.

[0040] 특히, 주어진 깊이에서의 포접 화합물의 특정 포화를 뒷받침할 최소 공극률은 최소한 부분적으로는 상기 깊이에서의 3-상 온도뿐만 아니라 기하학적 인자, 고체-액체 계면의 계면 에너지, 고체 상에서의 포접 화합물의 벌크 밀도, 고체 상 포접 화합물의 용해열 및 공극 반경에 따라 결정된다. 상기 방정식

$$\Delta T_f = -T_{f,h} (F_{Y_{sl}} / r \rho_s \Delta H_{sl})$$
에 근거하여, 변수 F가 2인 경우(일반적으로 원통형 및 구형 공극 모두를 대표하는 값), 포접 화합물의 농도가 증가함에 따라, 특정 공극 반경은 일반적으로 감소할 것이다. 특히, 포접 화합물이 공극 내에서 및 구형 입자 주변의 코팅으로서 성장할 경우, 상기 공극반경은 $(1-S_c)^{1/3}$ 배로 감소될 것이며, 여기서 S_c 는 포접 화합물 포화도, 또는 포접 화합물에 의해 점유된 공극 공간의 체적 분획이다. 이러한 변형을 이용하여, 현장 온도와 3-상 평형 온도 사이의 차이는 포접 화합물 포화의 측면에서 하기 방정식을 사용하여 표현될 수 있다(r_0 가 최초 (포접 화합물 없음) 공극 반경이라고 가정):

$$\Delta T_f = -T_{f,h} (F_{Y_{sl}} / r_0 (1-S_c)^{1/3} \rho_s \Delta H_{sl})$$

[0041]

[0042] 특히, 포접 화합물이 퇴적물 공극 공간에서 성장함에 따라, 상기 3-상 평형 온도는 국부적 현장 온도에 도달할 때까지 하강할 것이며, 여기에서 포접 화합물은 더 이상 유일한 안정된 상이 아니기 때문에 형성이 중단된다. 따라서, 현장 온도와 3상 평형 온도를 고려하여, 선택된 포접 화합물 포화도 S_c 를 허용하는 최소 최초 공극률이 최소 공극 크기 결정 구성요소(310)에 의해 단계 406에서 하기 방정식을 통해 계산될 수 있다:

$$r_0 = T_{f,b} F_{Y_{sl}} / ((T_{f,b} - T) (1-S_c)^{1/3} \rho_s \Delta H_{sl})$$

[0043]

[0044] 일단 단계 406에서 상기 최소 공극률이 결정되면, 평균 공극률과 평균 입자 크기가 결정될 수 있다 (단계 408). 이는, 예를 들어, 최대 공극 크기 구성요소(312)를 사용하여 달성될 수 있다. 간격 2a에 의해 분리된 반경 r의 동일한 구체들의 입방 패킹(cubic packing)의 경우, 8 개의 이웃한 구체들에 의해 생성된 공극에서의 내접구의

반경 r_s 는 하기와 같이 나타낸다:

$$r_s = \left(\frac{3}{2}\sqrt{2} - 1\right)r + \frac{3}{2}\sqrt{2}a$$

추가적으로, 상기 매체의 공극비(void ratio) e 는 하기에 의해 나타내어질 수 있다:

$$e = \frac{6}{\pi} \left(1 + \frac{a}{r}\right)^3 - 1$$

상기 방정식들을 근거로, 반경 r 을 갖는 구체들의 패킹에 대한 내접구 반경 r_s 의 비, 즉 r_s/r 는 하기와 같은 공극비로 표현된다:

$$\frac{r_s}{r} = \frac{3}{2}\sqrt{2} - \frac{5}{2} + \frac{3}{2} \left(\frac{\pi}{6} (e + 1) \right)^{1/3}$$

$\varphi(e=\varphi/(1-\varphi))$ 로서 개시되는 공극률에 관하여, 상기 방정식은 하기와 같이 재구성될 수 있다:

$$\frac{r_s}{r} = \frac{3}{2}\sqrt{2} - \frac{5}{2} + \frac{3}{2} \left(\frac{\pi}{6} \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} + 1 \right) \right)^{1/3}$$

상기 방정식을 기준으로, 이러한 r_s 대 r 의 비는 하기 형태의 함수로서 재구성될 수 있다:

$$\frac{r_s}{r} = A \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right)^B$$

평균 퇴적물 입자 직경 D_{50} 에 관하여, 이는 하기와 같이 재구성될 수 있다:

$$\frac{r_s}{D_{50}} = A \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right)^B$$

일부 구현예에서, 애플리케이션(308)은 상기 방정식을 적용하고, 1, 10, 50 및 100 마이크론의 평균 입자 직경 D_{50} 을 고려하는데, 이는 대부분의 해양 퇴적물을 대표하는 범위이다. 상기 방정식에서 이와 같은 입자 크기들을 사용하여, 다양한 깊이에서의 공극률을 기술하는 그래프가 생성될 수 있고, 이는 뒷받침될 공극 크기와 포접 화합물 포화도 사이의 상관 관계를 나타낸다.

어느 범위의 입자 및 공극 크기를 갖는 다공성 매체에서, 포접 화합물의 존재 또는 부재는 가장 큰 공극 크기에 의해 영향받을 것이다. 850회의 임의 크기의 구체들의 패킹 시뮬레이션에 근거하여, 상기 방정식에서 $A = 1.0913$ 이고, $B = 0.3503$ 임이 실험적으로 밝혀졌다. 따라서, 도 5에 도시된 바와 같이, 도표(500)는 공극률과 내접구의 상대적 반경 r_s 및 평균 입자 크기 D_{50} 사이의 상관 관계를 나타내는 예시적 시뮬레이션 데이터 및 회귀 곡선(regression curve)(502)을 개시한다. 공극률은 일반적으로 0과 1 사이의 척도에서 나타나는데, 0은 공극률 없음을 나타내고 1은 완전한 공극률을 나타낸다. 점선(504a-b)는 회귀 곡선(502)으로부터의 95% 신뢰구간(confidence intervals)을 나타낸다.

- [0058] 이제 도 6-9을 참조하면, 변수들을 사용한 블레이크 릿지(Blake Ridge)에 대한 분석 결과들이 도시되어 있다. 블레이크 릿지는 대서양의 사우스캐롤라이나 해상에 위치한 메탄 하이드레이트 광장으로, 수많은 연구가 진행되어 온 곳이다. 이 지역에서, 온도 및 압력 조건은, 수심 2781 m에서 해저 온도는 276.4 K이고 지열 구배는 0.04 K/m이다. 도 6-9에 개시된 바와 같이, 평균 입자 직경이 10 마이크로론 초과인 경우(예컨대, 도 7-9의 그래프 (700, 800, 900)에 나타난 바와 같이), 상기 공극 크기는 하이드레이트의 존재에 거의 영향을 미치지 않는다. 그러나, 도 6의 도표(600)에 나타난 바와 같이, 평균 입자 크기가 1 마이크로론인 경우, 공극률이 약 50% 미만이면, 일반적으로 최저 8 미터 깊이의 포집 화합물 안정 영역에서 하이드레이트가 형성되지 않을 것이다. 이는, 상기 깊이에서의 퇴적물의 거의 정확한 입자 크기 및 공극률이기 때문에, 유의미하다.
- [0059] 추가적으로, 다시 도 4를 참조하면, 문제의 퇴적물에서 기대될 수 있는 최대 공극 크기는 또한 입자 크기 분포로부터 결정될 수 있다(단계 410). 일부 구현예에서, 최대 공극 크기는, 최대 공극 크기 구성요소(312)와 3차원 데이터 모형화 구성요소(314)를 이용하여 계산될 수 있다. 최대 공극 크기를 결정하는 다양한 방법들이 가능하다. 일부 구현예에서, 최대 공극 크기는 다양한 크기의 퇴적물 입자들을 갖는 예시적 체적을 모형화하고, 이어서 상기 입자들 사이에 위치한 공극에 구체를 내접시키는 것을 시뮬레이션함으로써 결정될 수 있다. 이러한 배열들의 예들은 계류 중인, 발명의 명칭이 "퇴적물 샘플의 물리적 측정을 이용하여 퇴적물의 공극 크기를 결정하는 방법 및 시스템(Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment Using Physical Measurement of Sediment Samples)" 이고 2012년 11월 16일에 출원된 미국 가출원번호 제61/727,567호(Docket No. T-9173) 및 발명의 명칭이 "수치 모형화를 이용하여 퇴적물의 공극 크기를 결정하는 방법 및 시스템(Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment Using Numerical Modeling)" 이고 2012년 11월 16일에 출원된 미국 가출원번호 제61/727,569호(Docket No. T-9174)에 개시되어 있으며, 각 개시 내용은 전체가 이전에 참조로 포함되었다.
- [0060] 이와 같은 일부 구현예에서, 최대 공극 크기를 결정하는 것은, 입자 크기 분포를 수득하기 위한 레이저 입자 크기 분석, 스톡스 침강 분석, 영상 분석 또는 기타 기법을 통해, 최대 공극 크기 구성요소(312)에 의해 수행될 수 있다. 그 후, 평균 입자 크기 및 공극률과 연관된 데이터는 예를 들어, 물리적 측정 데이터 모듈(318)에 의한 물리적 측정 데이터로서 애플리케이션(308)에 의해 저장될 수 있다. 이러한 구현예에서, 최대 공극 크기는 경험적 상관 관계를 이용하여 결정될 수 있다. 이는, 예를 들어, 입자 유형/크기 및 기타 관찰가능한 현상 사이의 기존의 경험적 상관 관계에 근거할 수 있다. 예를 들어, 이러한 프로세스는 지표면 아래 퇴적물에 의해 반사된 음파의 감쇠(attenuation)를 기준으로 공극 크기를 추정하는 단계를 포함할 수 있다. 일반적으로, 음파는 고밀도의 물질은 더 빠른 속도로 통과하고, 저밀도의 물질은 더 느린 속도로 통과할 것이다. 특정 위치에서의 지표면 아래 조건들의 음향 분석을 수행하고, 관찰된 반사된 파동 값을 알려진 최대 공극 크기를 갖는 지역에서의 유사 값에 비교함으로써, 퇴적물에서 기대될 수 있는 최대 공극 크기가 결정될 수 있다. 예를 들어, 퇴적물에서 기대되는 최대 공극 크기는 ["Viscous attenuation of sound in saturated sand", Hovem, J.M., and Ingram, G.D., J. Acoust. Soc. Am., 67, 1559-1563 (1979)] 에서 논의된 것과 같은 경험적 상관 관계에 근거할 수 있고, 상기의 개시 내용은 전체가 본원에 참조로 포함된다.
- [0061] 일단 단계 410에서 최대 공극 크기가 결정되고, 단계 406에서 특정 농도를 뒷받침하는 최소 공극 크기가 계산되면, 상기 두 값이 비교될 수 있다(단계 412). 상기 최대 공극 크기가 최소 필요 공극 크기보다 작을 경우, 애플리케이션은 그에 따라 검토대상 지역이 바람직한 포화도의 포집 화합물 형성을 뒷받침할 수 없다고 결정할 수 있다(단계 414). 따라서, 사용자는 다른 분석을 진행할 수 있는데, 예컨대 애플리케이션이 다른 지표면 아래 지역을 분석하게 하거나 분석에 사용하기 위한 바람직한 포집 화합물 농도를 조절할 수 있다(그림으로써 도 3의 애플리케이션(308)을 사용하여, 도 4에 개시된 방법의 적어도 일부를 재시작한다). 역으로, 검토대상 지역의 최대 공극 크기가 주어진 농도 또는 그 이상의 농도에서 포집 화합물 형성을 뒷받침하기 위해 필요한 최소 공극 크기보다 큰 경우, 포집 화합물 형성은 가능할 것이고, 애플리케이션(308)은 사용자에게 그에 부응하여 통보할 것이다(단계 416). 이에 따라, 사용자는 검토대상인 특정 위치가, 예컨대 상기 기술된 도 1-2의 시스템의 사용을 통한, 포집 화합물 수확을 위한 가능한 후보지라는 것을 나타낼 수 있다.
- [0062] 이제 도 3-4를 참조하면, 도 4의 방법 및 시스템을 구현하는 특정 컴퓨팅 시스템에서, 본원에 개시된 프로세스들을 수행하기 위해 다양한 컴퓨팅 시스템이 사용될 수 있다는 것이 주목된다. 예를 들어, 본 개시 내용의 구현예들은 별도의 전자 소자, 논리 게이트(logic gates)를 함유하는 패키지화된 또는 통합된 전자칩, 마이크로프로세서를 활용하는 회로를 포함하는 다양한 유형의 전기 회로에서 또는 전자 소자 또는 마이크로프로세서를 함유하는 단일 칩에서 실행될 수 있다. 본 개시 내용의 구현예들은 또한, 논리 연산, 예컨대 AND, OR 및 NOT 을 수행할 수 있고, 비제한적으로 기계, 광학, 유체 및 양자 기술을 포함하는 기타 기술들을 사용하여 실행될 수 있

다. 또한, 본원에 기술된 방법의 양태들은 일반적인 목적의 컴퓨터 또는 임의의 다른 회로 또는 시스템에서 실행될 수 있다.

[0063] 본 개시 내용의 구현예들은 컴퓨터 프로세스(방법), 컴퓨팅 시스템으로서, 또는 컴퓨터 프로그램 제품 또는 컴퓨터 판독 가능 매체와 같은 제조 물품으로서 시행될 수 있다. 컴퓨터 프로그램 제품은 컴퓨터 시스템에 의해 판독 가능한 컴퓨터 저장 매체일 수 있고, 컴퓨터 프로세스를 실행하기 위한 명령어의 컴퓨터 프로그램을 인코딩할 수 있다. 이에 따라, 본 개시 내용의 구현예들은 하드웨어 및/또는 소프트웨어(펌웨어(firmware), 소장 소프트웨어(resident software), 마이크로-코드 등 포함)에서 구현될 수 있다. 다시 말해서, 본 개시 내용의 구현예들은, 명령어 실행 시스템에 의해 또는 그것과 관련하여 사용하기 위한 매체에서 구현되는 컴퓨터-사용 가능 또는 컴퓨터-판독 가능 프로그램 코드를 갖는 컴퓨터-사용 가능 또는 컴퓨터-판독 가능 저장 매체 상에서의 컴퓨터 프로그램 제품의 형태를 취할 수 있다.

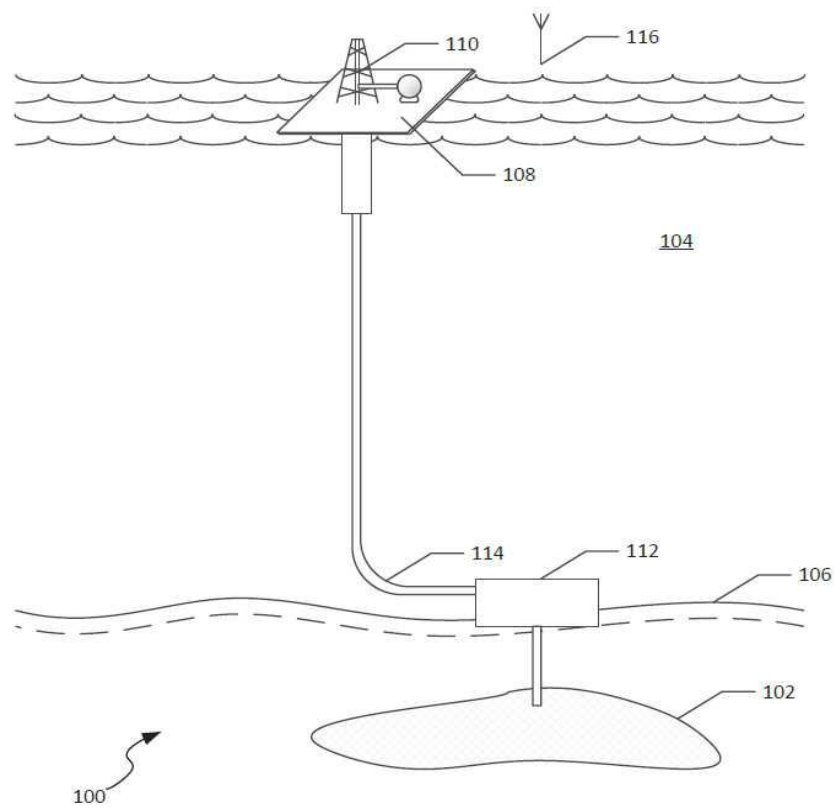
[0064] 본 개시 내용의 구현예들이, 예를 들어 본 개시 내용의 구현예들에 따른 방법, 시스템 및 컴퓨터 프로그램 제품의 블록 다이어그램 및/또는 작동 도해를 참고로 하여, 상기에 기술되어 있다. 블록에 지시된 기능/작동은 임의의 흐름도에 나타난 순서와 상관없이 실행될 수 있다. 예를 들어, 연속된 2 개의 블록들은 사실상 실질적으로 동시에 실행될 수 있고, 또는 상기 블록들은 때때로 포함된 기능성/작용에 따라, 역순으로 실행될 수 있다.

[0065] 본 개시 내용의 특정 구현예들이 기술되었지만, 다른 구현예들이 존재할 수 있다. 더욱이, 본 개시 내용의 구현예들이 메모리 및 기타 저장 매체에 저장된 데이터와 관련하여 기술되었지만, 데이터는 또한 다른 유형의 컴퓨터-판독 가능 매체 상에 저장되거나 또는 그로부터 판독될 수 있다. 추가로, 개시된 방법의 단계들은, 본 개시 내용의 전체 개념에서 벗어나지 않으면서, 단계들의 순서를 재배열하는 것 및/또는 단계들을 삽입 또는 제거하는 것을 포함하는 여러 방식으로 변형될 수 있다.

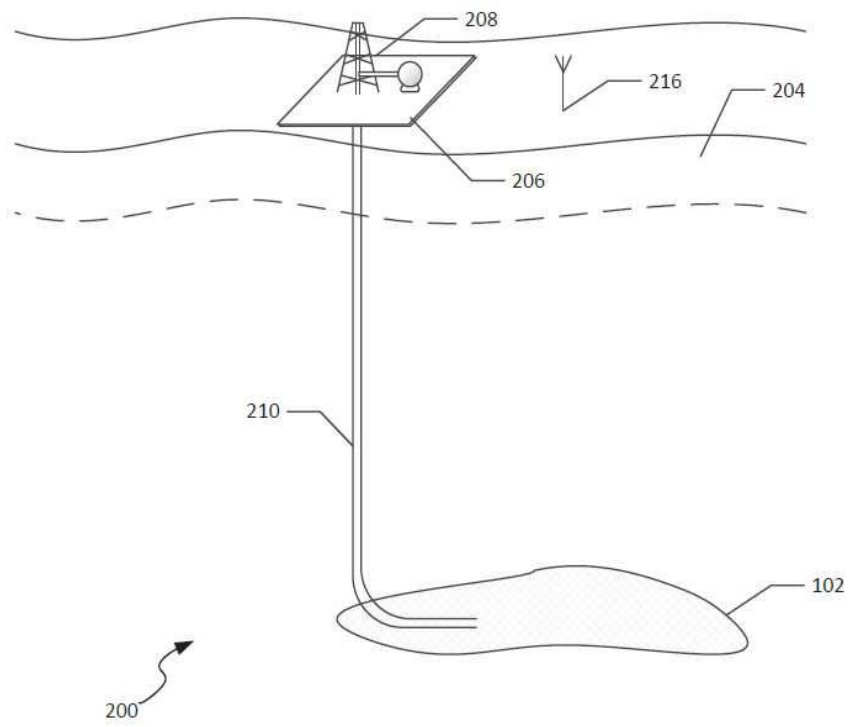
[0066] 상기 명세서, 예들 및 데이터는 본 발명의 구성요소의 제조 및 사용에 대한 완전한 설명을 제공한다. 본 발명의 여러 구현예들이 본 발명의 원칙 및 범위에서 벗어나지 않으면서 구현될 수 있으므로, 본 발명은 하기 첨부된 특허청구범위에 속한다.

도면

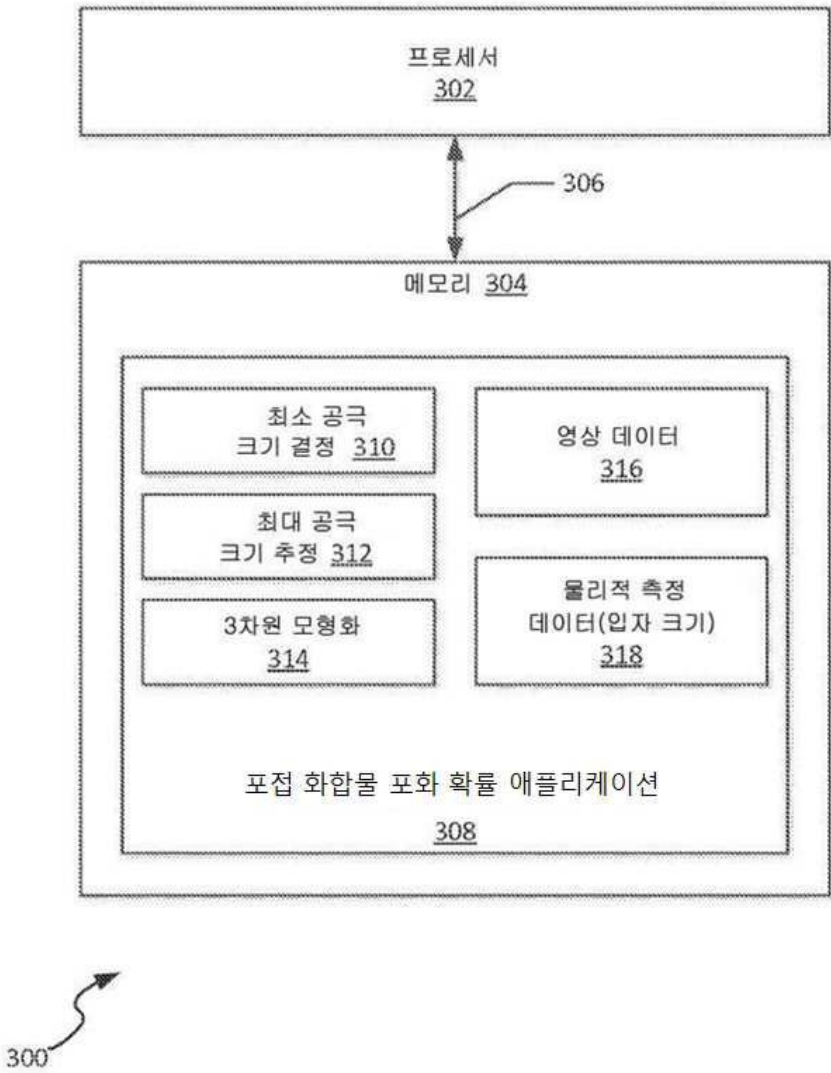
도면1



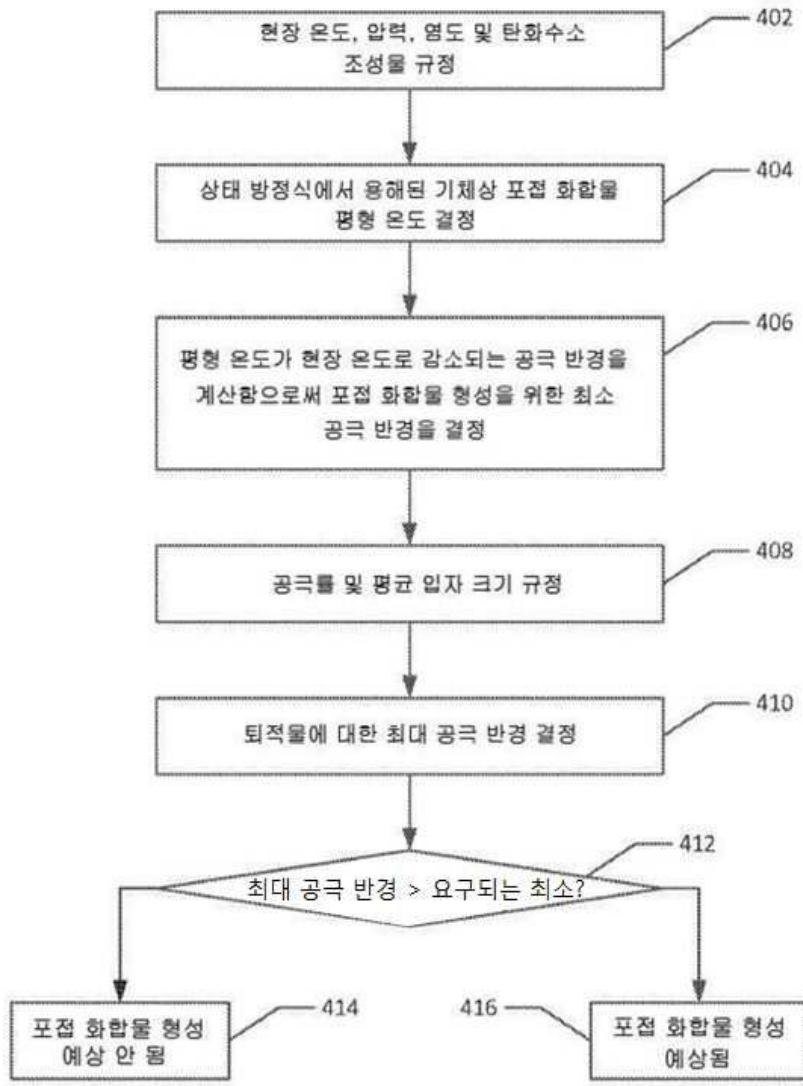
도면2



도면3

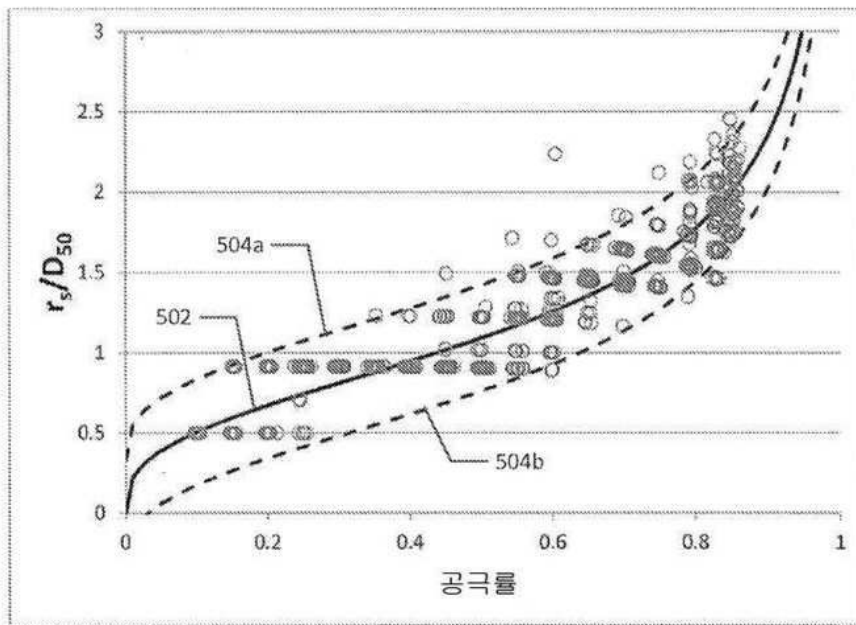


도면4



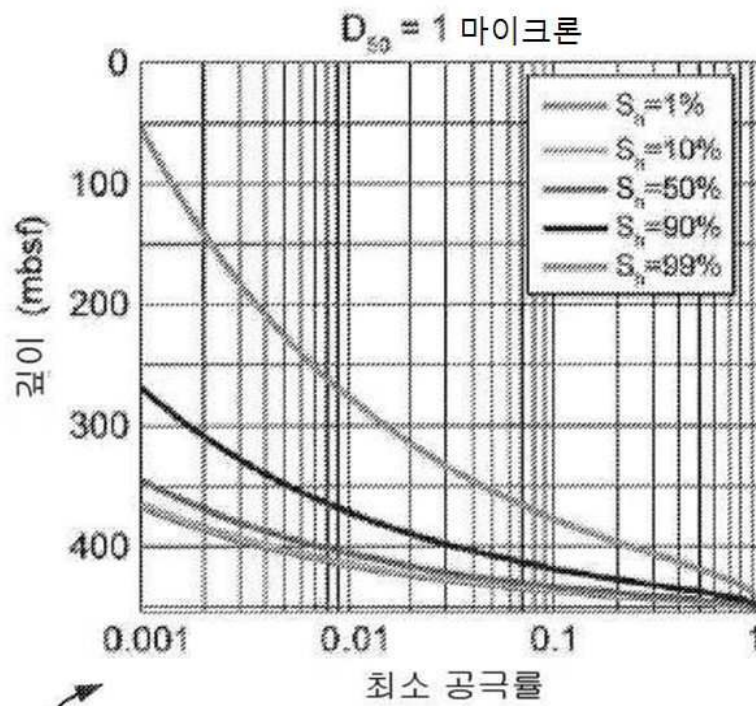
400

도면5



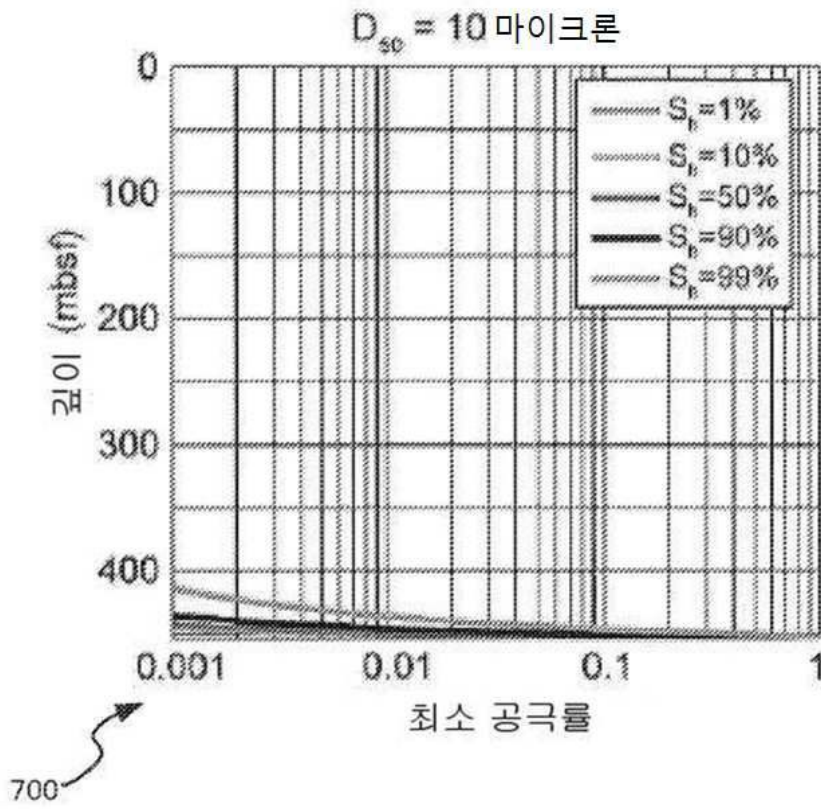
500 ↗

도면6

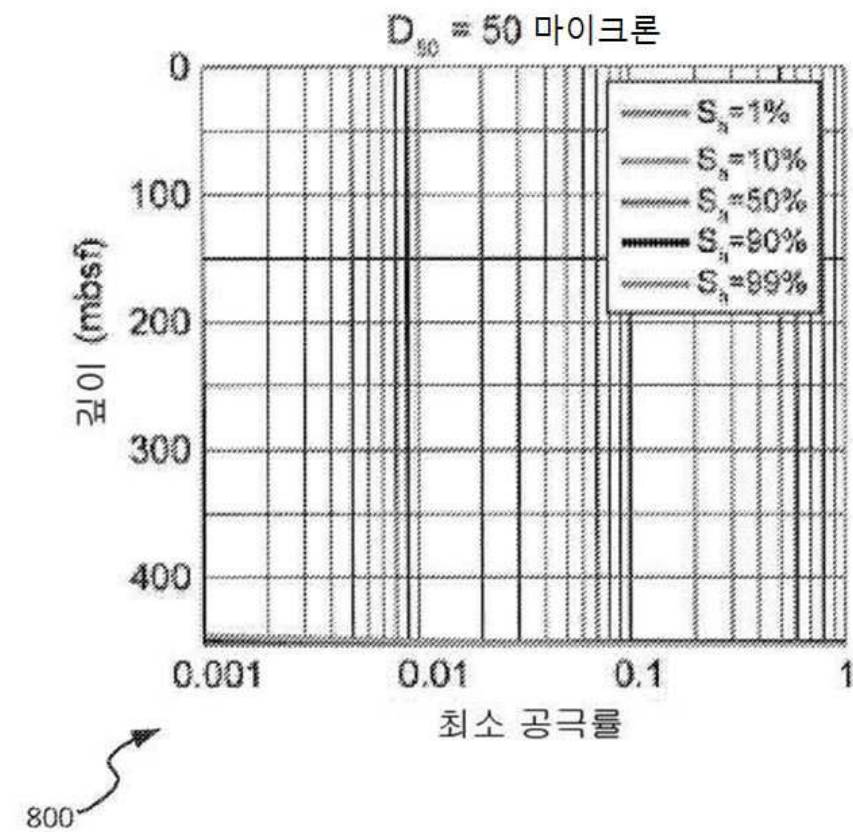


600 ↗

도면7



도면8



도면9

