



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년08월16일
 (11) 등록번호 10-1888872
 (24) 등록일자 2018년08월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01N 23/046 (2018.01) G01N 33/24 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 G01N 23/046 (2013.01)
 G01N 33/24 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2018-0060668
 (22) 출원일자 2018년05월28일
 심사청구일자 2018년05월28일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR100972624 B1
 KR1020020067036 A
 KR1020080039498 A
 KR1020130094564 A

(73) 특허권자
 한국지질자원연구원
 대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동, 한국지질자원연구원)
 한국과학기술원
 대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
 (72) 발명자
 이주용
 대전시 유성구 봉명로 94 705동 1502호
 이민희
 충청남도 공주시 신금2길 48 406-402
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 특허법인 대아

전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 최중운

(54) 발명의 명칭 **다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법**

(57) 요약

본 발명의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법은 (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계; (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계; (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계; 및 (d) 세립자 이동 분석결과 추정 단계; 를 포함한다.

대표도 - 도10

Calibration & Calculation Result	Drawings
$\Delta M = M_{\text{void}_J} - M_{\text{void}}$	
$M_{\text{fines}_J} = \Delta M \cdot G_s / (G_s - 1)$	
$FC_J = M_{\text{fines}_J} / (M_{\text{fines}_J} + M_{\text{sand}})$	
$FC_J = (M'_{\text{total}_J} - V_{\text{total}} \cdot \rho_w) \cdot G_s / (G_s - 1) - M_{\text{sand}}$	
$FC_{J_calibrated} = \alpha \cdot FC_J + \beta$	

- (52) CPC특허분류
G01N 2015/0846 (2013.01)
G01N 2223/419 (2013.01)

권대혁

대전광역시 유성구 문지로 14 3-304

- (72) 발명자

한결

대전광역시 유성구 은천북로 41

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711072755
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 국가과학기술연구회
연구사업명 주요사업-공공/인프라형
연구과제명 가스하이드레이트 탐사 및 개발연구
기 여 율 1/1
주관기관 한국지질자원연구원
연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31
공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계;
- (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계;
- (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계; 및
- (d) 세립자 이동 분석결과 추정 단계; 를 포함하는,
다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계는
가스하이드레이트 생성 이전 가스 주입 후의 X-ray CT 영상을 획득해 복셀 규모 기반의 분석을 수행하는 것을 특징으로 하는,
다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계는
물과 세립자는 샘플 전체에 균질하게 분포한다는 가정 1과,
복셀 당 모래 질량(M_{sand})은 상기 감압과정에서 변화 없다는 가정 2를 전제로 하는 것을 특징으로 하는,
다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계는
가스 방울의 위치는 히스토그램(histogram) 분석을 통해 얻어진 문턱값(threshold)을 기반으로 분류하여 가스 방울의 부피만 계산하고,
전체 시료내의 가스가 들어있는 복셀의 개수로 물의 부피를 나눠준 만큼을 각 가스 복셀이 가지는 부피로 간주할 수 있으므로 일정한 부피내에서 세립자가 차지할 수 있는 양을 계산해서 상기 각 가스 복셀에서 상기 세립자의 질량을 계산하는 것을 특징으로 하는,
다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계에서는

상기 계산된 세립자 함량을 실험 후에 샘플링한 결과와 비교하여 보정 수치를 산출하고 산출된 보정계수를 적용해 최종적으로 세립자 함량을 계산하는 것을 특징으로 하는,

다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (d) 세립자 이동 분석결과 추정 단계는

상기 계산된 세립자 함량의 계산결과를 이용해 상기 감압 단계별로 샘플의 각 위치에서의 상기 세립자 함량의 변화를 추정하는 것을 특징으로 하는,

다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계는

수학식 b-11 내지 수학식 b-14를 계산하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는,

다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법.

(수학식b-11)

$$M_{total0} = M_{sand} + M_{fines0} + M_{water}$$

여기서, M_{total0} : 복셀 당 총 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, M_{fines0} : 복셀 당 세립자 질량, M_{water} : 복셀 당 물 질량.

(수학식b-12)

$$w = M_{water} / (M_{sand} + M_{fines0})$$

여기에서, w : 수분함량, M_{water} : 복셀 당 물 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, M_{fines0} : 복셀 당 세립자 질량.

(수학식b-13)

$$FC_{ini} = M_{fines0} / (M_{sand} + M_{fines0})$$

여기에서 FC_{ini} : 초기 세립자 함량, M_{fines0} : 복셀 당 세립자 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량.

(수학식b-14)

$$M_{sand} = (1 - FC_{ini}) \cdot M_{total0} / (1 + w)$$

여기에서, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, FC_{ini} : 초기 세립자 함량, M_{total0} : 복셀 당 총 질량, w : 수분함량.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계는

수학식 b-21 내지 수학식 b-26을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는,
다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법.

(수학식 b-21)

$$M_{total_J} = M_{sand} + M_{fines_J} + M_{water_J}$$

여기에서, M_{total_J} : 감압 후 단계에서의 복셀 당 총 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, M_{fines_J} : 감압 후 단계에서의 복셀 당 세립자 질량, M_{water_J} : 감압 후 단계에서의 복셀 당 물 질량.

(수학식 b-22)

$$M'_{total_J} = M_{total_J} + \rho_w \cdot V_{gas}$$

여기에서, M_{total_J} : 감압 후 단계에서의 복셀 당 총 질량, M'_{total_J} : 감압 후 단계에서 가스 체적만큼 물로 치환된 후 복셀 당 총 질량, ρ_w : 복셀의 벌크 밀도, V_{gas} : 복셀 당 가스 체적.

(수학식 b-23)

$$M'_{total_J} - M_{sand} = M_{void_J}$$

여기에서 M'_{total_J} : 감압 후 단계에서 가스 체적만큼 물로 치환된 후 복셀 당 총 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, M_{void_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 공극 질량.

(수학식 b-24)

$$M_{void_J} = M_{fine_J} + M_{water_J}$$

여기에서, M_{void_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 공극 질량, M_{fine_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 세립자 질량.

(수학식 b-25)

$$V_{sand} = M_{sand} / G_s \cdot \rho_w$$

여기에서, V_{sand} : 복셀 당 모래 체적, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, G_s : 퇴적 입자의 특정 밀도, ρ_w : 복셀의 벌크 밀도.

(수학식 b-26)

$$V_{void} = V_{total} - V_{sand}$$

여기에서, V_{void} : 복셀 당 공극 체적, V_{total} : 복셀 당 총 체적, V_{sand} : 복셀 당 모래 체적.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계는

수학식 c-1 내지 수학식 c-5 를 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는,
다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법.

(수학식 c-1)

$$\Delta M = M_{void_J} - M_{void}$$

여기에서, M_{void} : 복셀 당 공극 질량, M_{void_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 공극 질량, ΔM : 감압전후 단계에서 복셀

당 공극 질량의 차이.

(수학식 c-2)

$$M_{fines_J} = \Delta M \cdot G_s / (G_s - 1)$$

여기에서, M_{fines_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 세립자 질량, ΔM : 감압전후 단계에서 복셀 당 공극 질량의 차이, G_s : 퇴적 입자의 특정 밀도.

(수학식 c-3)

$$FC_J = M_{fines_J} / (M_{fines_J} + M_{sand})$$

여기에서, FC_J : 감압 후 단계에서 세립자 함량, M_{fines_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 세립자 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량.

(수학식 c-4)

$$FC_J = (M'_{total_J} - V_{total} \cdot \rho_w) \cdot G_s / (G_s - 1) - M_{sand}$$

여기에서, FC_J : 감압 후 단계에서 세립자 함량, M'_{total_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 전체 질량, V_{total} : 복셀 당 전체 부피, ρ_w : 물의 밀도, G_s : 퇴적 입자의 특정 밀도, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량.

(수학식 c-5)

$$FC_{J_calibrated} = \alpha \cdot FC_J + \beta$$

여기에서, $FC_{J_calibrated}$: 보정된 세립자 함량, α : 보정 매개 변수, FC_J : 감압 후 단계에서 세립자 함량, β : 오프 셋 매개 변수.

청구항 10

다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법을 실행하기 위한 장치에 있어서, 중심 시료가 위치한 바디부를 구비하고, 상기 바디부의 일측에 유체 주입 포트가 구비되고, 상기 바디부의 타측에 유체 배출 포트가 구비된 고압 셀; 및 상기 유체 주입 포트와 상기 유체 배출 포트에 구비된 온도 센서와 압력 센서; 를 포함하는, 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 장치.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 유체 주입 포트와 연결되고 메탄을 공급하는 메탄실린더; 상기 메탄실린더에 연결된 주사기형 펌프; 상기 유체 배출 포트와 연결된 후압력계; 상기 후압력계의 배출부를 통해 배출된 가스와 물 중 물의 질량만을 측정하는 저울; 상기 후압력계의 배출부를 통해 배출된 건조한 가스가 포집되는 가스컬렉터; 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 장치.

청구항 12

제10항에 있어서,
 상기 고압 셀은
 상기 유체 배출 포트의 배출부와 상기 중심 시료 사이에 이격되어 배치되는 스크린; 및
 상기 유체 배출 포트의 배출부의 내부가 투영되는 투명창; 을 더 포함하는 것을 특징으로 하는,
 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,
 상기 바디부에 인입되는 유리구슬을 더 포함하는 것을 특징으로 하는,
 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 장치.

청구항 14

다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법을 실행하기 위한 시스템에 있어서,
 퇴적층 내 세립자 이동영상을 촬영하는 X-ray CT 촬영부; 및
 상기 X-ray CT 촬영부의 촬영영상을 이용하여 세립자 이동분석 방법을 실행하는 서버; 를 포함하고,
 상기 서버는
 X-ray CT 촬영부에서 촬영한 영상신호를 인가하게 하는 입력부;
 상기 입력부에 입력된 촬영영상을 기 설정된 적어도 하나의 GH 생성량 예측 방법 프로그램의 알고리즘에 따라,
 상기 촬영된 촬영영상의 노이즈를 제거하는 편집부;
 상기 노이즈를 제거한 영상신호에서 세립자 이동을 분석하는 분석부;
 상기 분석부의 분석데이터에서 세립자 이동을 계산하는 계산부;
 상기 계산부의 계산데이터에서 세립자 이동을 보정하는 보정부;
 상기 보정부의 보정데이터에서 세립자 이동결과를 산출하는 결과부;
 상기 결과부의 결과에 기초하여, 상기 세립자 이동분석 결과를 판단하고, 상기 판단 결과에 따라 상기 촬영영상을 상태 별로 구분된 저장영역에 저장하는 판단부; 및
 상기 판단 결과를 알리는 메시지를 기 등록된 단말로 전송하는 통신부; 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는,
 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 시스템.

청구항 15

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 구현하기 위한 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 가스하이드레이트(Gas Hydrate; GH) 생산모사 실험을 하는 과정을 실시간으로 모니터링하기 위해 촬영된

[0001]

실험 전 과정의 단계별 X-ray CT 영상을 이용하여 가스하이드레이트 해리과정에서 나타나는 물과 가스의 다상유동(multi-phase flow)에서 퇴적층 내 세립자 이동을 X-ray CT 영상을 기반으로 분석하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] X-ray CT는 비파괴 모니터링의 대표적인 방법으로 X-선으로 투과된 물체의 횡단면을 가시화한다. X-ray CT 장비는 크게 X-선 발생기와 X-선 검출기 그리고 물체를 올려두는 테이블로 구성이 되어있다. X-선 발생기에서 발생된 X-선이 물체를 투과하여 X-선 검출기에 도달하게 된다. 이때 도달된 X-선을 역으로 추산하여 물체의 내부를 가시화하는 기술이다. 일반적으로 검출되는 물체가 회전하고 고출력의 X-선 발생기를 사용할 수 있는 산업용 X-ray CT와 X-선 발생기와 검출기가 돌아가며 인체에 적절한 레벨의 에너지를 사용하는 의료용 X-ray CT로 나누게 된다.

[0003] X-ray CT 촬영은 물체를 일정 간격으로 나누어 촬영을 진행하게 되는데 이때 하나의 이미지를 슬라이스라고 부른다. 한 장의 슬라이스는 여러 개의 픽셀로 구성되어 있고 픽셀은 X-선이 나타낼 수 있는 최소 단위의 표현법이다. X-선의 픽셀에는 X-선 강도의 정보가 담겨 있다. X-선 발생기에서의 에너지 준위와 검출기에서의 에너지의 준위의 비로 나타내는데 이때 감소되는 양은 비어의 법칙으로 설명된다. 강도 감소의 유효 인자는 X-선 발생기에서의 에너지와, X-선이 지나온 길이와 물질 고유의 값인 선형감소계수에 비례하는데 X-선 장비에서의 X-선의 에너지와 지나쳐 가는 길이는 동일하기 때문에 물질의 선형감소계수에만 영향을 받게 된다. 이 상수는 물질 고유의 상수로서 물질의 밀도와 원자의 무게에 비례한다. 높은 밀도를 가지는 물질일수록 감소폭이 크게 되고 동일한 밀도에서도 원자의 무게가 높은 물질이 감소폭이 크게 된다. 검출기에서 검출된 강도의 값을 CT 값이라 부른다.

[0004] X-ray CT 장비를 사용하여 비파괴 모니터링을 할 때 얻게 되는 정보는 각 슬라이스의 픽셀에서의 CT 값 변화이다. CT 값 변화만으로는 어떠한 변화가 일어났는지 유추할 수 없기 때문에 이 CT 값을 보정할 수 있는 값을 찾는 실험을 해야 한다. 사질 생산 실험을 통해서 변화하는 것은 물질의 상이고 이에 따라 가장 크게 변화하는 것이 바로 밀도이다. 밀도의 변화에 의해서 강도 차이가 생기게 된다. 이를 고려하여 사전에 실험에서 사용하는 셀 안에 밀도를 아는 다양한 물질을 넣고 이때의 CT 값을 측정하여 CT 값과 밀도의 관계 그래프를 그려 밀도 보정을 시행한다.

[0005] 특허문헌 1은 토사의 간극비(void ratio)를 측정함에 있어서, 토사 시료를 엑스레이 씨티(X-ray CT) 단층촬영하되, X-ray CT 단층촬영 이미지의 최소 복셀의 크기보다 작은 크기의 토사체 입자를 가지고 있어서 공극의 가시화가 어려운 미세한 토사에 대해서도 X-ray CT 단층촬영을 통해 토사의 간극비를 측정할 수 있도록 하는 X-ray CT 단층촬영을 통한 미세 토사의 간극비 측정방법에 관한 것이다. 특허문헌 1은 X-ray CT 단층촬영 이미지의 최소 복셀의 크기보다 작은 크기의 토사체 입자를 가지고 있고 간극비를 이미 알고 있는 표준 토사 시료에 대해 X-ray CT 단층촬영 이미지를 취득하고, X-ray CT 단층촬영 이미지에서 각각의 복셀에 대해 CT값을 구하고, X-ray CT 단층 촬영된 영역의 CT대표값을 각 CT값으로부터 산정하여, CT대표값과 토사의 간극비의 데이터를 취득하고, 상기 간극비를 달리한 복수 종류의 표준 토사 시료에 대해 복수의 간극비와 CT대표값의 데이터베이스를 구축하며, 측정 대상 토사의 시료에 대한 X-ray CT 단층촬영 이미지로부터 각 복셀당 CT값을 CT대표값을 산정하고, 산정된 CT대표값에 해당하는 간극비를, 기구측된 간극비와 CT대표값의 데이터베이스로부터 구함으로써, 측정 대상 토사에 대한 간극비를 측정하는 방법이 제시되어 있다.

[0006] 종래의 X-ray CT 영상의 각 복셀(voxel)은 밀도에 의한 X-ray의 감쇄정도를 지시하는 강도(intensity)를 의미하므로 세립자 이동 분석 등에 사용하기 위해서는 다양한 분할(segmentation) 기법을 이용한 구성물질의 분류와 분석 결과를 이용한 함량분석이 선행되어야 한다. 단상유동(single-phase flow)의 경우에는 기존의 분할 기법만을 이용한 세립자의 함량분석이 가능하다. 그러나, 가스하이드레이트 생산과정과 같이 생성된 가스가 물과 함께 거동을 하는 다상유동에서는 분할 방법만으로는 세립자 이동에 대한 정량분석에 어려움이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) KR 10-1110787 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 X-ray CT 영상의 복셀 규모(voxel-scale) 분석을 통해 가스하이드레이트 생산시 퇴적층 내 다상유동에 의한 세립자 이동분석 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법은, (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계; (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계; (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계; 및 (d) 세립자 이동 분석결과 추정 단계; 를 포함할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계는 가스하이드레이트 생성 이전 단계(가스 주입 후)의 X-ray CT 영상을 획득해 복셀 규모 기반의 분석을 수행할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계는 가정 1은 물과 세립자는 샘플 전체에 균질하게 분포한다는 것이고, 가정 2는 모래입자의 이동이 없으므로 복셀 당 모래 질량(M_{sand})은 감압과정에서 변화 없다는 것을 전제로 할 수 있다.

[0012] 또한, 상기 (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계는 가스 방울의 위치는 히스토그램(histogram) 분석을 통해 얻어진 문턱값(threshold)을 기반으로 분류하여 가스 방울의 부피만 계산하고, 전체 시료내의 가스가 들어있는 복셀의 개수로 물의 부피를 나눠 준 만큼을 각 가스 복셀이 가지는 부피로 간주할 수 있으므로 일정한 부피내에서 세립자가 차지할 수 있는 양을 계산해서 각 복셀에서 세립자의 질량을 계산할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계에서는 계산된 세립자 함량을 실험 후에 샘플링한 결과와 비교하여 보정수치를 산출하고 산출된 보정계수를 적용해 최종적으로 세립자 함량을 계산할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 (d) 세립자 이동 분석결과 추정 단계는 계산된 세립자 함량 계산결과를 이용해 감압의 단계별로 샘플의 각 위치에서의 세립자 함량 변화를 추정할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계는 수학식 b-11 내지 수학식 b-14를 계산하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계는 수학식 b-21 내지 수학식 b-26을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계는 수학식 c-1 내지 수학식 c-5를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 다른 목적을 달성하기 위한 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 장치는 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법을 실행하기 위한 장치에 있어서, 중심 시료가 위치한 바디부를 구비하고, 상기 바디부의 일측에 유체 주입 포트가 구비되고, 상기 바디부의 타측에 유체 배출 포트가 구비된 고압 셀; 상기 유체 주입 포트와 상기 유체 배출 포트에 구비된 온도 센서와 압력 센서; 를 포함하여 구성될 수 있다.

[0019] 또한, 상기 장치는 상기 유체 주입 포트와 연결되고 메탄을 공급하는 메탄실린더; 상기 메탄실린더에 연결된 주사기형 펌프; 상기 유체 배출 포트와 연결된 후압력계; 상기 후압력계의 배출부를 통해 배출된 가스와 물 중 물의 질량만을 측정하는 저울; 상기 후압력계의 배출부를 통해 배출된 건조한 가스가 포집되는 가스컬렉터; 를 더 포함할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 고압 셀은 상기 유체 배출 포트의 배출부와 시료 사이에 이격되어 배치되는 스크린; 및 상기 유체 배출 포트의 배출부의 내부가 투영되는 투명창; 을 더 포함할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 장치는 상기 바디부에 인입되는 유리구슬을 더 포함할 수 있다.

[0022] 본 발명의 또 다른 목적을 달성하기 위한 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 시스템은 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법을 실행하기 위한 시스템에 있어서, 퇴적층 내 세립자 이동영상을 촬영하는 X-ray CT 촬영부; 및 상기 X-ray CT 촬영부의 촬영영상을 이용하여

세립자 이동분석 방법을 실행하는 서버;를 포함하고, 상기 서버는 X-ray CT 촬영부에서 촬영한 영상신호를 인가하게 하는 입력부; 상기 입력부에 입력된 촬영영상을 기 설정된 적어도 하나의 GH 생성량 예측 방법 프로그램의 알고리즘에 따라, 상기 촬영된 촬영영상의 노이즈를 제거하는 편집부; 상기 노이즈를 제거한 영상신호에서 세립자 이동을 분석하는 분석부; 상기 분석부의 분석데이터에서 세립자 이동을 계산하는 계산부; 상기 계산부의 계산데이터에서 세립자 이동을 보정하는 보정부; 상기 보정부의 보정데이터에서 세립자 이동결과를 산출하는 결과부; 상기 결과부의 결과에 기초하여, 상기 세립자 이동분석 결과를 판단하고, 상기 판단 결과에 따라 상기 촬영영상을 상태 별로 구분된 저장영역에 저장하는 판단부; 및 상기 판단 결과를 알리는 메시지를 기 등록된 단말로 전송하는 통신부; 를 더 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명의 또 다른 목적을 달성하기 위하여 전술한 어느 한 한 항에 기재된 방법을 구현하기 위한 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체일 수 있다.

[0024] 기타 실시예의 구체적인 사항은 "발명을 실시하기 위한 구체적인 내용" 및 첨부 "도면"에 포함되어 있다.

[0025] 본 발명의 이점 및/또는 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 각종 실시예를 참조하면 명확해질 것이다.

[0026] 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 각 실시예의 구성만으로 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로도 구현될 수도 있으며, 단지 본 명세서에서 개시한 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

[0027] 본 발명에 의한 경우, 다상유동시 사질층에 유입되는 세립자의 이동을 분석하는 기법 개발 및 적용으로 X-ray CT 영상을 이용한 모니터링 기법의 정확도를 향상시키는데 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법에서 사용된 퇴적물의 물리적 성질을 도시한 도표이다.

도 2는 도 1에서 사용된 퇴적물의 입자 크기 분포를 도시한 그래프이다.

도 3(a)는 고압 셀 및 도 1의 시료가 충전된 셀의 모식도이고, 도 3(b)는 도 1의 가스하이드레이트 생성 실험 시스템 전체를 나타내는 모식도이고, 도 3(c)는 도3(a)의 사시도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법의 실험과정의 중 가스 주입, 하이드레이트 생성, 물 주입, 감압 과정에서의 압력 - 온도 추적 그래프이다.

도 5는 가스주입, 가스하이드레이트 생성, 물 주입, 감압과정에서 촬영된 X-ray CT 영상의 대표적 사진이다.

도 6은 도 4의 시료 준비과정의 모래 질량을 추정하기 위한 복셀 규모 분석 절차를 나타낸 도표이다.

도 7은 도 4의 감압시 시료의 X-ray CT 값의 히스토그램 변화 및 감압시 발생하는 가스방울의 공간적 변화를 도시한 사진이다.

도 8은 도 4의 감압과정에서 세립자의 무게를 추정하기 위한 복셀 규모 분석 절차를 나타낸 도표이다.

도 9는 계산된 세립자 함량을 실험 후에 샘플링 결과와 비교해 보정수치를 산출하기 위한 그래프이다.

도 10은 세립자의 질량과 계산된 보정치를 적용해 세립자의 함량을 보정하기 위한 복셀 규모 분석 절차를 나타낸 도표이다.

도 11은 각 단계별 세립자 함량 변화를 도시한 그래프이다.

도 12는 본 발명의 일실시예의 실험의 각 단계별 X-ray CT 영상을 획득하는 장비의 시스템 구성도이다.

도 13은 가스하이드레이트 생성량 예측 방법을 도시한 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0030] 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.
- [0031] 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.
- [0032] 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.
- [0033] 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.
- [0034] 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.
- [0035] 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.
- [0036] 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.
- [0037] 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.
- [0038] 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.
- [0039] 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.
- [0040] 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.
- [0041] 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.
- [0042] 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.
- [0044] 도 1은 본 발명의 일 실시예의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법에서 사용된 퇴적물의 물리적 성질을 도시한 도표이다.
- [0045] 도 2는 도 1에서 사용된 퇴적물의 입자 크기 분포를 도시한 그래프이다.
- [0046] 도 3(a)는 고압 셀 및 도 1의 시료가 충전된 셀의 모식도이고, 도 3(b)는 도 1의 가스하이드레이트 생성 실험

시스템 전체를 나타내는 모식도이고, 도 3(c)는 도3(a)의 사시도이다.

- [0047] 도 4는 본 발명의 일 실시예의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법의 실험 과정의 중 가스 주입, 하이드레이트 생성, 물 주입, 감압 과정에서의 압력 - 온도 추적 그래프이다.
- [0048] 도 5는 가스주입, 가스하이드레이트 생성, 물 주입, 감압과정에서 촬영된 X-ray CT 영상의 대표적 사진이다.
- [0049] 도 6은 도 4의 시료 준비과정의 모래 질량을 추정하기 위한 복셀 규모 분석 절차를 나타낸 도표이다.
- [0050] 도 7은 도 4의 감압시 시료의 X-ray CT 값의 히스토그램 변화 및 감압시 발생하는 가스방울의 공간적 변화를 도시한 사진이다.
- [0051] 도 8은 도 4의 감압과정에서 세립자의 무게를 추정하기 위한 복셀 규모 분석 절차를 나타낸 도표이다.
- [0052] 도 9는 계산된 세립자 함량을 실험 후에 샘플링 결과와 비교해 보정수치를 산출하기 위한 그래프이다.
- [0053] 도 10은 세립자의 질량과 계산된 보정치를 적용해 세립자의 함량을 보정하기 위한 복셀 규모 분석 절차를 나타낸 도표이다.
- [0054] 도 11은 각 단계별 세립자의 함량 변화를 도시한 그래프이다.
- [0055] 도 12는 본 발명의 일 실시예의 실험의 각 단계별 X-ray CT 영상을 획득하는 장비의 시스템 구성도이다.
- [0056] 도 13은 가스하이드레이트 생성량 예측 방법을 도시한 개략도이다.
- [0058] 본 발명의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법은 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법에 있어서, (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계; (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계; (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계; 및 (d) 세립자 이동 분석결과 추정 단계; 를 포함한다.
- [0059] (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계는 가스하이드레이트 생성 이전 가스 주입 후의 X-ray CT 영상을 획득해 복셀 규모 기반의 분석을 수행한다.
- [0060] (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계는 물과 세립자는 샘플 전체에 균질하게 분포한다는 가정 1과, 복셀 당 모래 질량(M_{sand})은 감압과정에서 변화 없다는 가정 2를 전제로 한다.
- [0061] (a) X-ray CT 영상 분석 샘플 준비 과정 단계는 수학적식 b-11 내지 수학적식 b-14를 계산하는 단계를 더 포함한다.
- [0062] (수학적식b-11)
- [0063] $M_{total0} = M_{sand} + M_{fines0} + M_{water}$
- [0064] 여기서, M_{total0} : 복셀 당 총 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, M_{fines0} : 복셀 당 세립자 질량, M_{water} : 복셀 당 물 질량.
- [0065] (수학적식b-12)
- [0066] $w = M_{water} / (M_{sand} + M_{fines0})$
- [0067] 여기에서, w : 수분함량, M_{water} : 복셀 당 물 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, M_{fines0} : 복셀 당 세립자 질량.
- [0068] (수학적식b-13)
- [0069] $FC_{ini} = M_{fines0} / (M_{sand} + M_{fines0})$
- [0070] 여기에서 FC_{ini} : 초기 세립자 함량, M_{fines0} : 복셀 당 세립자 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량.
- [0071] (수학적식b-14)
- [0072] $M_{sand} = (1 - FC_{ini}) \cdot M_{total0} / (1 + w)$
- [0073] 여기에서, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, FC_{ini} : 초기 세립자 함량, M_{total0} : 복셀 당 총 질량, w : 수분함량.
- [0074] (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계는 가스 방울의 위치는 히스토그램 분석을 통해 얻어진 문턱값을 기반으로

로 분류하여 가스 방울의 부피만 계산하고, 전체 시료내의 가스가 들어있는 복셀의 개수로 물의 부피를 나눠준 만큼을 각 가스 복셀이 가지는 부피로 간주하여 일정한 부피내에서 세립자가 차지할 수 있는 양을 계산해서 각 복셀에서 세립자의 질량을 계산한다.

[0075] (b) X-ray CT 영상 분석 감압 과정 단계는 수학적 b-21 내지 수학적 b-26을 계산하는 단계를 더 포함한다.

[0076] (수학적 b-21)

[0077]
$$M_{total_J} = M_{sand} + M_{fines_J} + M_{water_J}$$

[0078] 여기에서, M_{total_J} : 감압 후 단계에서의 복셀 당 총 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, M_{fines_J} : 감압 후 단계에서의 복셀 당 세립자 질량, M_{water_J} : 감압 후 단계에서의 복셀 당 물 질량.

[0079] (수학적 b-22)

[0080]
$$M'_{total_J} = M_{total_J} + \rho_w \cdot V_{gas}$$

[0081] 여기에서, M_{total_J} : 감압 후 단계에서의 복셀 당 총 질량, M'_{total_J} : 감압 후 단계에서 가스 체적만큼 물로 치환 된 후 복셀 당 총 질량, ρ_w : 복셀의 벌크 밀도, V_{gas} : 복셀 당 가스 체적.

[0082] (수학적 b-23)

[0083]
$$M'_{total_J} - M_{sand} = M_{void_J}$$

[0084] 여기에서 M'_{total_J} : 감압 후 단계에서 가스 체적만큼 물로 치환 된 후 복셀 당 총 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, M_{void_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 공극 질량.

[0085] (수학적 b-24)

[0086]
$$M_{void_J} = M_{fine_J} + M_{water_J}$$

[0087] 여기에서, M_{void_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 공극 질량, M_{fine_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 세립자 질량.

[0088] (수학적 b-25)

[0089]
$$V_{sand} = M_{sand} / G_s \cdot \rho_w$$

[0090] 여기에서, V_{sand} : 복셀 당 모래 체적, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량, G_s : 퇴적 입자의 특정 밀도, ρ_w : 복셀의 벌크 밀도.

[0091] (수학적 b-26)

[0092]
$$V_{void} = V_{total} - V_{sand}$$

[0093] 여기에서, V_{void} : 복셀 당 공극 체적, V_{total} : 복셀 당 총 체적, V_{sand} : 복셀 당 모래 체적.

[0094] (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계는 계산된 세립자 함량은 실험 후에 샘플링한 결과와 비교하여 보정 수치를 산출하고 보정계수를 적용해 최종적으로 세립자 함량을 계산한다.

[0095] (c) 보정 및 세립자 함량 계산 단계는 수학적 c-1 내지 수학적 c-5 를 계산하는 단계를 더 포함한다.

[0096] (수학적 c-1)

[0097]
$$\Delta M = M_{void_J} - M_{void}$$

[0098] 여기에서, M_{void} : 복셀 당 공극 질량, M_{void_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 공극 질량, ΔM : 감압전후 단계에서 복셀 당 공극 질량의 차이.

[0099] (수학적 c-2)

[0100]
$$M_{fines_J} = \Delta M \cdot G_s / (G_s - 1)$$

- [0101] 여기에서, M_{fines_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 세립자 질량, ΔM : 감압전후 단계에서 복셀 당 공극 질량의 차이, G_s : 퇴적 입자의 특정 밀도.
- [0102] (수학식 c-3)
- [0103] $FC_J = M_{fines_J} / (M_{fines_J} + M_{sand})$
- [0104] 여기에서, FC_J : 감압 후 단계에서 세립자 함량, M_{fines_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 세립자 질량, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량.
- [0105] (수학식 c-4)
- [0106] $FC_J = (M'_{total_J} - V_{total} \cdot \rho_w) \cdot G_s / (G_s - 1) - M_{sand}$
- [0107] 여기에서, FC_J : 감압 후 단계에서 세립자 함량, M'_{total_J} : 감압 후 단계에서 복셀 당 전체 질량, V_{total} : 복셀 당 전체 부피, ρ_w : 물의 밀도, G_s : 퇴적 입자의 특정 밀도, M_{sand} : 복셀 당 모래 질량.
- [0108] (수학식 c-5)
- [0109] $FC_{J_calibrated} = \alpha \cdot FC_J + \beta$
- [0110] 여기에서, $FC_{J_calibrated}$: 보정된 세립자 함량, α : 보정 매개 변수, FC_J : 감압 후 단계에서 세립자 함량, β : 오프셋 매개 변수.
- [0112] (d) 세립자 이동 분석결과 추정 단계는 계산된 세립자 함량 계산결과를 이용해 감압의 단계별로 샘플의 각 위치에서의 세립자 함량 변화를 추정한다.
- [0114] 본 발명의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법은 물과 가스의 서로 다른 밀도를 기반으로 복셀 규모(voxel-scale)에서의 분석을 통해 가스하이드레이트 생산과정과 같은 다상유동에서 나타나는 세립자 이동을 분석하는 것이다. 가스하이드레이트 생산과정에서 나타나는 퇴적물의 밀도 변화와 이로 인한 X-ray CT 영상의 변화는 크게 가스하이드레이트 해리, 사질 입자의 이동, 가스 방울 생성, 그리고 세립자의 이동에 의해서 나타난다. 그러므로 몇 가지 가정과 각 복셀의 강도(intensity) 변화를 분석하면 최종적으로 다상유동에서 세립자의 이동을 분석할 수 있다. 분석방법은 분석의 전과정에서 얻은 X-ray CT 영상의 자료처리를 통한 가스 방울 추적, 세립자 함량분석, 샘플링 방법과 비교를 통해 얻은 보정수치 적용 등의 과정을 거친다. 그리고, 사질과 세립자의 입도 및 함량분포를 다양화하여 분석방법의 신뢰도를 확인했으며 최종적으로 X-ray CT영상을 이용해 다상유동에서 세립자 이동을 정량적으로 분석할 수 있는 방법을 제시하였다.
- [0115] 본 발명에서는 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용해 세립자 이동을 분석하는 방법을 제안하였다. 세립자 이동을 분석하기 위해서는 세립자 함량 분석이 선행되어야 하며 이를 위해서는 시료 준비과정과 감압과정에서의 X-ray CT 영상의 상호비교가 요구된다. 각 과정에서 밀도 변화에 기인한 X-ray CT 영상의 변화를 야기하는 요인 중 입자의 이동은 감압속도가 느리기 때문에 큰 차이가 없고, 가스하이드레이트 해리에 의한 변화는 물과 가스하이드레이트의 밀도차가 크지 않기 때문에 생성된 가스 방울의 추적과 세립자 함량을 분석하면 세립자 이동에 대한 분석이 가능하다. 가스 방울의 추적은 히스토그램(histogram analysis) 분석으로 CT 값의 변화를 파악해 문턱값 분석 방법로부터 공간적인 정보를 획득하였으며, 세립자 함량은 가스 방울의 위치, 구성물질의 질량, 부피, 함량 변화의 차이를 분석하고 마지막으로 샘플링 방법으로부터 얻은 보정수치를 적용하는 방법을 사용했다.
- [0116] 본 발명의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법을 도면을 참조하여 설명하면 다음과 같다.
- [0118] 도 1 및 도 2를 참조하면, 다양한 입자 크기를 가진 경우에서 본 발명에서 제안하는 세립자 이동을 분석하는 방법을 확인하기 위해 두 종류의 모래와 세립자를 섞어 사용했다. 분석에 사용된 모래 시료는 F110 모래 시료이며 각 시료의 특성은 도 1에 도시되어 있고, 각 모래와 세립자의 입도 분포는 도 2에 도시되어 있다.
- [0120] 본 발명의 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법은 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 장치에 의해 구현되며, 본 발명의 일 실시예에서 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 장치는 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법을 실행하기 위한 장치에 있어서, 중심 시료(1)가 위치한 바디부(4)를 구비하고, 상기 바디부(4)

의 일측에 유체 주입 포트(11)가 구비되고, 상기 바디부(4)의 타측에 유체 배출 포트(13)가 구비된 고압 셀(10); 상기 유체 주입 포트(11)와 상기 유체 배출 포트(13)에 구비된 온도 센서(15)와 압력 센서(16); 를 포함하여 구성된다.

- [0121] 상기 유체 주입 포트(11)와 연결되고 메탄을 공급하는 메탄실린더(30); 상기 메탄실린더(30)에 연결된 주사기형 펌프(40,50); 상기 유체 배출 포트(13)와 연결된 후압력계(63); 상기 후압력계(63)의 배출부를 통해 배출된 가스와 물 중 물의 질량만을 측정하는 저울(65); 상기 후압력계(63)의 배출부를 통해 배출된 건조한 가스가 포집되는 가스컬렉터(70); 를 더 포함한다.
- [0122] 상기 고압 셀(10)은 상기 유체 배출 포트(13)의 배출부(14)와 시료 사이에 이격되어 배치되는 스크린(18); 및 상기 유체 배출 포트(13)의 배출부의 내부가 투영되는 투명창(19); 을 더 포함한다.
- [0123] 상기 바디부(4)에 인입되는 유리구슬(3)을 더 포함한다.
- [0125] 도 3(a) 및 3(b)를 참조하면, 가스하이드레이트 해리 실험에서 사용된 고압 셀(10)의 모식도는 도 3(a)에 나타나있다.
- [0126] 도 3(a)를 참조하면, 고압 셀(10)의 중심 시료(3)가 위치하는 몸통 부분은 알루미늄으로 제작하였고 나머지 부분은 스테인리스 스틸을 사용하여 제작하였다. 시료는 고압 셀(10)의 중심부에 230 mm의 길이로 성형하여 위치하였고 나머지 부분으로 시료의 이동을 방지하기 위해서 250-420 μm 크기의 유리구슬(3)로 채워 넣었다. 시료 왼쪽의 유체 주입 포트(11)와 오른쪽의 배출 포트(13)를 통해서 삽입된 온도 센서(15)와 압력 센서(16)를 통하여 주입부와 배출부의 온도와 압력을 측정하였고 배출부와 시료 사이에는 100 μm 간격을 가지고 있는 스크린(19)을 배치하여서 사질 생산을 통한 실험 시스템 손상을 저지하였다. 또한 생산되는 사질을 수집하기 위한 공간을 배출부와 스크린(18) 사이에 만들어 두었으며 사질 생산을 관측할 수 있도록 수집 공간의 한쪽 면에 투명창(19)을 만들었다.
- [0127] 도 3(b)를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 전체적인 시스템이 도시되어 있다. 각 유체의 주입 포트(11) 및 배출 포트(13)에는 온도 및 압력 변화를 측정하기 위해서 온도 센서(15)와 압력 센서(16)가 연결되어 있으며, 유체의 주입 포트(11)는 메탄을 공급하는 메탄실린더(30)와 연결된 주사기형 펌프(40,50)를 통해서 주입 유량 및 유속을 조절하게 된다. 유체 배출 포트(13)는 후압력계(63)와 연결되어 포화 상태에서의 압력을 유지할 수 있고 감압을 순차적으로 시킬 수 있게 된다. 후압력계(63)의 배출 부분을 통해 배출된 가스와 물 중 물이 수집되어 저울(65)로 측정되었고 나머지 건조한 가스는 가스컬렉터(70)로 포집되어서 생산된 가스량을 측정하였다.
- [0128] 또한, 도 3(b)는 X-ray CT 스캐너를 사용하여 시료를 이미징하는 동안 수화물 함유 퇴적물을 합성하고 감압을 수행하기 위한 실험 설정 및 계측을 보여준다. 용기의 온도는 용기 주위를 감싸는 실리콘 튜브를 통해 항온수조(bath) (RW-1025G, 제이오 테크, 대전, 대한민국)에서 온도 조절 유체를 순환시킴으로써 제어된다. 열전대(K-타입, KMTSS-010-018, 오메가 엔지니어링, 스템포드, CT, USA)와 저항 온도 검출기 (RTD, PT100, 한국 전기 히터, 대한민국) 포트에 각각 연결하여 용기 내부의 온도를 온도 센서(15)로 모니터링한다. 실험과정동안 입구 및 출구 압력을 모니터링하기 위해 유체 주입 포트(11) 및 유체 배출 포트(13)에 2 개의 압력 센서(16) (Heise Model DXD 시리즈, Ashcroft Inc., Stratford, CT, U.S.A.)를 설치한다. 유체 배출 포트(13)는 감압 공정 동안 출구 압력을 제어하는 후압력계(63) (BPR, Tescom 26-1700 시리즈, Emerson Electric Co., St. Louis, MO, USA)에 연결된다. 수화물 시료로부터 생성된 유체는 분리기(67)로 흘러가며 저울(70)에서 물의 질량을 측정한다. 다음 분리된 메탄 가스를 가스 컬렉터(70)로 수집한다.
- [0129] 본 발명의 일 실시예에서는 X-ray CT 스캐너 (Optima CT660, GE Health, Little Chalfont, U.K.)를 사용하여 실험 과정에서 퇴적물 내에서의 내부 변화를 이미징한다. X-ray CT는 스캐닝된 영역의 X선 감쇠 특성에 대한 공간적으로 분석된 정량적 정보를 제공하며, 이는 교정을 통해 밀도와 관련될 수 있다. 데이터는 일반적으로 2-D 또는 3-D 이미지로 표시된다. 스캐닝 길이는 약 250mm 이고, 그 결과 스캔은 퇴적물과 일부 GB 층의 전체 길이를 덮는다. 각 스캔에 필요한 시간은 약 90 초이고, 이러한 짧은 기간은 각 스캔 동안 내부 변화는 없거나 최소한이었으며 감압 프로세스를 적절히 포착할 수 있다는 가정을 정당화한다. X-ray CT 스캐너의 최대 분해능은 약 100 μm 이고 슬라이스 간격(또는 슬라이스 두께)은 625 μm 이다. 본 발명에서 얻어진 모든 슬라이스 영상은 픽셀 크기가 107 μm 이고 슬라이스 두께가 625 μm 인 512 x 512 픽셀로 구성된다. 획득한 슬라이스의 총 수는 380-400 장으로 퇴적물을 완전히 덮는다. 스캐닝은 X-ray 광원의 제어된 전류 및 전압 값, 즉 120 kV-210 mA 와 120 kV-250 mA로 수행된다. X-ray CT 값과 밀도 값을 상호 연관시키기 위해 고압 용기 내부에 배치된 알려진 밀

도의 물질로 사전 교정 테스트를 수행한다. 공기, 물, 석영, 알루미늄 합금 (AL6061), 초고분자량 폴리에틸렌 (UHMW-PE), 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE), 폴리 카보네이트 (PC), 모노 캐스트 나일론 (MC), 폴리에틸렌 테레프탈레이트 (PET), 네일 캐스트 폴리아세탈 (POM-C) 및 폴리비닐리덴 플루오라이드 (PVDF)가 알려진 밀도의 물질로 사용된다.

[0131] 도 4를 참조하면, 초기에 5 %의 함수비를 가지도록 성형된 시료를 고압 셀(10)에 다져 넣고 그 양 끝단에 시료가 이동되지 않도록 유리 구슬(3)을 쌓아둔다. 이후 고압 셀(10)을 항온항습챔버에 위치시키고 가스하이드레이트가 생성되기 직전의 온도인 12 °C에서 메탄가스로 포화시킨다. 포화시키는 과정이 끝나고 나면 고압 셀(10)을 전체적으로 냉각하여서 시료(1) 내부에 가스하이드레이트를 만들게 된다. 이후 가스하이드레이트 부존층을 모사하기 위해서 물을 주입하여 포화상태로 만든 이후 감압법을 적용하며 가스하이드레이트를 해리시키고 이런 전 과정을 X-ray CT 로 촬영한다. 전체적인 실험에서의 온도 압력 조건을 간략하게 도 4에 표현하였다. 또한 각 과정에서 X-ray CT 촬영을 통해 관측되는 이미지를 보여주기 위해서 샘플 2의 X-ray CT 이미지를 대표로 하여 도 5에 그려두었다.

[0133] 본 발명의 일 실시예에서 새롭게 고안된 방법은 물과 가스의 서로 다른 밀도를 기반으로 복셀 규모(voxel-scale)에서의 분석을 통해 가스하이드레이트 생산과정과 같은 다상유동에서 나타나는 세립자 이동을 정량적으로 분석하는 것이다.

[0135] i) X-ray CT 영상 획득

[0136] 도 4 및 도 5를 참조하면, 실험의 준비과정, 가스 주입(1 단계), 가스하이드레이트 생성(2 단계), 물 주입(3 단계), 그리고 순차적인 감압생산(4 단계) 동안 X-ray CT 영상을 순차적으로 획득하였다.

[0137] 단계별 감압 단계에서의 주기적인 X-ray CT 영상 촬영은 샘플을 따라 미립자 내용의 시간적 변화를 추적하는데 사용할 수 있으며, 해리 후 샘플링은 끝점 정보 만 제공한다. 침전물 준비 과정에서 감압에 이르는 수화물 형성을 통해 하나의 복셀에는 모래, 세립자, 물, 메탄 수화물 및 유리 메탄 가스의 5 가지 구성 요소가 포함될 수 있다. 따라서 시료 준비 단계와 감압 단계에서 얻은 X-ray CT 영상 이외에도 각 복셀에서의 미립자 질량 계산에는 생성된 물의 양과 가스 방울 (또는 가스 복셀)의 위치를 비롯한 사전 정보와 추가 정보가 필요하다. 실험 후 샘플링 결과는 보정계수 산출에 사용되었다. 여기서는 단순화를 위해 수화물과 물 사이의 밀도 차이를 가정하지 않았으며 잔류 가스 기포가 차지하는 총 부피는 바로 시간 단계에서 생성된 물의 부피와 같았고 이러한 잔류 기포는 가스 복셀에 균일하게 분포했다. 샘플 1 의 감압 후 단계(스텝 J)에서 얻은 이미지 세트를 검토할 때 복셀 스케일 분석 절차는 다음과 같다.

[0139] ii-1) X-ray CT 영상 분석 단계 (샘플 준비 과정)

[0140] 도 6을 참조하면, 가스하이드레이트 생성 이전 단계(가스 주입 후)의 X-ray CT 영상을 획득해 복셀 규모 기반의 분석을 수행한다. 이 과정에서 몇 가지 가정이 요구되며 각 구성물질의 질량, 물의 함량, 세립자 함량 등을 얻을 수 있다. 이 과정에서 요구되는 가정으로 가정 1은 물과 세립자는 샘플 전체에 균질하게 분포한다는 것이고, 가정 2는 감압속도가 매우 느리기 때문에 모래입자의 이동이 없으므로 복셀 당 모래 질량(M_{sand})은 감압과정에서 변화가 없다는 것이다.

[0141] 가스 주입 후 (아직 가스하이드레이트 형성 이전, 즉 도 4의 단계 1 이후) 얻어진 슬라이스 이미지를 사용하여, 초기 혼합 비율(수분 함량 w 및 세립자 함량 FC_{ini})과 물과 세립자가 균질하게 퍼져 있다고 가정하면 복셀 당 모래 질량(M_{sand})을 구할 수 있다. 복셀 당 모래 질량은 감압에 의한 유체의 유속이 최대 3.2 mL / min 정도로 충분히 낮기 때문에 각 복셀에 대한 모래 질량은 감압 과정에서 일정하게 유지된다고 가정한다.

[0143] ii-2) X-ray CT 영상 분석 단계 (감압 과정)

[0144] 도 7 및 도 8을 참조하면, 가스하이드레이트 생산을 위한 감압 과정을 거치면 샘플의 밀도가 감소하게 되고 밀도에 의한 감쇄 정도를 나타내는 X-ray CT 영상의 변화를 야기한다. 이러한 변화는 크게 가스하이드레이트 해리, 사질 입자의 이동, 가스 방울 생성, 그리고 세립자의 이동에 의해서 나타난다. 사질 입자의 이동은 감압 속도가 ~3 ml/min으로 매우 작기 때문에 무시할 수 있고 가스하이드레이트는 상대적으로 그 양이 적고 밀도가 ~0.9 g/cm³로 물(1.0 g/cm³)과 큰 차이가 없다. 그러므로 밀도 변화 즉 X-ray CT 영상의 변화를 야기하는 4가지 원인 중 가스하이드레이트 해리에 의한 가스 방울의 생성과 세립자 이동은 X-ray CT 영상의 변화를 발생시키는 주요 원인이라고 볼 수 있다. 가스 방울의 위치는 히스토그램 분석을 통해 얻어진 문턱값을 기반으로 분류하면

알 수 있으므로 최종적으로 가스 방울의 부피만 계산해 주면 된다.

- [0145] 가스 방울의 부피 총량은 그 시점에서 생산된 물의 부피와 같다고 볼 수 있기 때문에 전체 시료내의 가스가 들어있는 복셀의 개수로 물의 부피를 나눠 준 만큼을 각 가스 복셀이 가지는 부피로 생각할 수 있다. 이 방법을 통해 가스 부피만큼을 공극에서 보관해주고 나면 공극은 세립자와 물로만 가득차 있게 된다. 공극의 부피는 모래 입자의 무게를 사용하여 얻을 수 있기 때문에 일정한 부피내에서 세립자가 차지 할 수 있는 양을 계산하게 되면 각 복셀에서 세립자의 질량을 알 수 있다.
- [0146] 감압 후 단계(스텝 J)에서 얻어진 슬라이스 이미지로부터, 각 복셀의 벌크 밀도는 CT 값으로부터 계산될 수 있다. 따라서 감압 후 단계에서의 복셀 당 총 질량, M_{total_J} 를 얻을 수 있다. 복셀에 자유 가스가 있는지 여부는 문턱값 기반의 분석을 통해서 이미 알고 있다(도 7 참조). 복셀이 가스를 포함하고 있다면, 복셀 당 가스 부피 (V_{gas})는 생산된 물의 총 부피를 가스 복셀의 수로 나눈 값과 같다고 가정한다. 그러면, 가스 부피는 물로 치환되므로 감압 후 단계에서 총 질량은 $M'_{total_J} = M_{total_J} + \sigma_w V_{gas}$ 가 된다. 만약, 가스가 없는 경우 $M'_{total_J} = M_{total_J}$ 로 계산할 수 있다.
- [0147] 감압 후 단계에서 공극 질량은 세립자의 질량과 물의 질량의 합으로 정의되므로 $M_{void_J} = M_{fine_J} + M_{water_J}$ 로 나타낼 수 있으며 이는 $M'_{total_J} - M_{sand}$ 로 계산될 수 있다. 공극의 체적은 $V_{void} = V_{total} - V_{sand} = V_{total} - M_{sand}/(G_s \cdot \sigma_w)$ 로 계산할 수 있으며 G_s 는 퇴적물 입자의 특정 밀도이다.
- [0149] iii) 보정 및 세립자 함량 계산 단계
- [0150] 도 9 및 도 10을 참조하면, 오직 물로만 포화된 경우 공극의 질량은 감압의 최종 단계와 비교해 세립자의 함량을 계산에 사용할 수 있다. 계산된 세립자 함량은 실험 후에 샘플링한 결과와 비교하여 보정 수치를 산출하고 산출된 보정계수를 적용해 최종적으로 세립자 함량을 계산한다.
- [0151] 물로만 채워진 공극 질량 ($M_{void} = V_{void} \cdot \sigma_w$) 은 감압 후 단계에서의 공극 질량 M_{void_J} 와 비교할 수 있으므로 $\Delta M = M_{void_J} - M_{void} = M_{fines_J} (1 - 1/G_s)$ 와 같이 계산할 수 있다. 따라서, 감압 후 단계(스텝 J)에서의 세립자 함량(FC)은 $FC_J = M_{fines_J} / (M_{fines_J} + M_{sand})$ 과 같이 계산된다.
- [0152] 감압 후 단계에서 세립자 함량(FC_J)은 크기 보정 매개 변수 α 와 오프셋 매개 변수 β 를 사용하여 $FC_{J_calibrated} = \alpha \cdot FC_J + \beta$ 와 같이 보정한다. 보정계수 α 와 β 는 최소자승법(least-square fitting method)을 통해 실험 후 샘플링으로부터 얻은 세립자 함량과 해당 섹션의 평균 세립자 함량을 비교하여 결정된다. X-ray CT 영상을 이용하는 복셀 기반의 분석은 고압셀의 양측면의 유리구슬 층을 제외하고 퇴적 샘플이 위치하는 영역으로 한정한다. 보정된 세립자 함량 분석 결과는 도 9와 같다.
- [0154] iv) 세립자 이동 분석결과 추정단계
- [0155] 도 11을 참조하면, 계산된 세립자 함량 계산결과를 이용해 감압의 단계별로 샘플의 각 위치에서의 세립자 함량 변화를 추정할 수 있다.
- [0156] 도 6, 도 8 및 도 10 에는 세립자 함량을 추정하기 위해 사용된 복셀 기반의 분석방법이 요약되어 있다. 크기보정 매개변수 α 는 0.35 일 때, 오프셋 매개변수 β 는 5.4일 때 분석에 사용한 샘플에서 가장 잘 맞는 것으로 나타났다. 주요 분석 결과 중 하나는 유리구슬 영역은 퇴적층에 비해 공극이 상대적으로 크기 때문에 가스 포화도가 더 높게 나타나는 것을 확인했다. 이로 인해 유리구슬 영역의 가스 복셀은 퇴적층이 존재하는 영역의 가스 복셀에 비해 더 많은 가스량을 가지며 크기보정 매개변수 α 는 0.3-0.4 사이의 값을 갖는다.
- [0157] 보정계수 α 와 β 를 사용하여 세립자 함량을 보정한 후에도 일부 위치에서는 샘플링 결과와 큰 차이를 보였다. 이러한 세립자 함량의 과대평가는 주로 가스량의 과대평가에 기인한다. 이처럼 가스부피가 과대평가 되면 전체 부피가 증가하게 되므로 세립자 함량 역시 증가하는 결과를 초래한다. 치밀하지 못한 모래 시료 구조의 변화로 인해 퇴적물은 공극률이 높아지거나 건조밀도가 감소해 세립자 함량을 증가시킬 수 있다. 반면에, 가스 부피의 과소평가는 세립자 함량을 실제보다 적게 평가할 수 있다. 예를 들어 도 9 (샘플 1)의 33-55 mm 구간은 계산된 세립자 함량이 샘플링 결과에 비해 높게 나타났다. 이는 감압에 의해 주입부 유리구슬 영역 주변의 모래 시료가 치밀하지 않게 변하는 구조적 변화와 가스 복셀의 과대평가에 의한 영향이 함께 영향을 미친 것으로 추정된다. 이와 같은 세립자 함량 분석결과와 샘플링 분석 결과의 차이는 유리구슬 영역 주변에서 부분적으로 나

타나므로 분석의 영역은 퇴적물이 위치한 영역으로 한정한다. 유리구슬 영역과 퇴적물 샘플 사이의 경계면에는 항상 일정한 두께를 지닌 부분적인 혼합 영역이 존재하기 때문에 퇴적물의 가장자리 및 경계 부근에서는 복셀 기반의 분석방법에 주의가 반드시 요구된다.

- [0159] 본 발명의 일 실시예에 의한 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법을 실행하기 위한 X-ray CT 시스템(100)은 퇴적층 내 세립자 이동영상을 촬영하는 X-ray CT 촬영부(110); 및 상기 X-ray CT 촬영부(110)의 촬영영상을 이용하여 세립자 이동분석 방법을 실행하는 서버(120);를 포함하고, 상기 서버(120)는 X-ray CT 촬영부(110)에서 촬영한 영상신호를 인가하게 하는 입력부(122); 상기 입력부(122)에 입력된 촬영영상을 기 설정된 적어도 하나의 퇴적층 내 세립자 이동 분석 방법 프로그램의 알고리즘에 따라, 상기 촬영된 촬영영상의 노이즈를 제거하는 편집부(123); 상기 노이즈를 제거한 영상신호에서 세립자 이동을 분석하는 분석부(124); 상기 분석부(124)의 분석데이터에서 세립자 이동을 계산하는 계산부(125); 상기 계산부(125)의 계산데이터에서 세립자 이동을 보정하는 보정부(126); 상기 보정부(126)의 보정데이터에서 세립자 이동결과를 산출하는 결과부(127); 상기 결과부(127)의 결과에 기초하여, 상기 세립자 이동분석 결과를 판단하고, 상기 판단 결과에 따라 상기 촬영영상을 상태 별로 구분된 저장영역에 저장하는 판단부(130); 및 상기 판단 결과를 알리는 메시지를 기 등록된 단말로 전송하는 통신부(140); 를 더 포함한다.
- [0161] 본 발명의 일 실시예에 의한 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법을 구현하기 위한 시스템(100)의 작동을 설명한다.
- [0162] 도 12를 참조하면, 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 시스템(100)은 X-ray CT 촬영부(110)와 서버(120)를 포함한다.
- [0163] X-ray CT 촬영부(110)는 퇴적층 내 세립자 이동영상을 촬영한다.
- [0164] 서버(120)는 입력부(122), 편집부(123), 분석부(124), 계산부(125), 보정부(126), 결과부(127)를 포함하고, X-ray CT 촬영부(110)의 촬영영상을 이용하여 세립자 이동분석 방법을 실행한다.
- [0165] 입력부(122)는 X-ray CT 촬영부(110)에서 촬영한 영상신호를 인가하게 한다.
- [0166] 편집부(123)는 입력부(122)에 입력된 촬영영상을 기 설정된 적어도 하나의 퇴적층 내 세립자 이동 분석 방법 프로그램의 알고리즘에 따라, 상기 촬영된 촬영영상의 노이즈를 제거한다.
- [0167] 분석부(124)는 노이즈를 제거한 영상신호에서 세립자 이동을 분석한다.
- [0168] 계산부(125)는 분석부(124)의 분석데이터에서 세립자 이동을 계산한다.
- [0169] 보정부(126)는 계산부(125)의 계산데이터에서 세립자 이동을 보정한다.
- [0170] 결과부(127)는 보정부(126)의 보정데이터에서 세립자 이동결과를 산출한다.
- [0171] 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 시스템(100)은 판단부(130), 통신부(140)를 포함한다. 판단부(130), 통신부(140)는 서버(120)와 독립적으로 구성될 수도 있고, 서버(120)내에 포함될 수도 있다.
- [0172] 판단부(130)는 결과부(127)의 결과에 기초하여, 세립자 이동분석 결과를 판단하고, 판단 결과에 따라 상기 촬영영상을 상태 별로 구분된 저장영역에 저장한다.
- [0173] 통신부(140)는 기 판단 결과를 알리는 메시지를 기 등록된 단말로 전송한다.
- [0175] 도 13을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법의 프로그램 알고리즘이 도시되어 있다.
- [0176] 가스하이드레이트(GH) 생성 분석을 통해서 각 부분의 밀도가 증가하는 것을 X-ray CT 이미지를 통해서 알 수 있었으며 이를 이용하여 각 슬라이스별로 가스하이드레이트(GH) 생성량을 분석해 보는 방법의 프로그램 알고리즘이 도 13에 도시되어 있다. 먼저, 가스하이드레이트(GH) 생성과정 동안 촬영된 X-ray CT 이미지를 각 슬라이스별로 텍스트 이미지로 변환한다. 변환된 슬라이스들은 픽셀 위치에서의 X-ray CT 값들을 볼 수 있다. 이 X-ray CT 값을 밀도 보정식을 통하여서 밀도로 변환할 수 있다. 밀도의 평균을 내서 이를 각 슬라이스의 대표 밀도로 설정하면 각 슬라이스별 밀도 증가량을 구할 수 있다. 이 밀도의 슬라이스의 두께와 크기를 곱하게 되면 슬라이스별 무게 증가량을 구할 수 있고 메탄가스를 제외하고 나머지는 단한 상태로 유지하였기에 이는 오로지 가스하이드레이트(GH) 형성으로 인한 무게 증가로 여겨질 수 있다.

- [0177] 본 발명의 일 실시예에 의한 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 방법은 다상유동에서 X-ray CT 영상을 이용한 퇴적층 내 세립자 이동분석 프로그램으로 구현될 수 있다.
- [0179] 본 발명에 의한 경우, 가시화 기법의 현장 적용성을 높이기 위해 사질층의 입도와 유입되는 세립 퇴적물의 입도를 다양화하여 다상유동시 퇴적 입자이동 기법을 개선하여 모니터링 기법의 정확도를 향상시키는 효과가 있다.
- [0181] 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.
- [0182] 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

- [0183] 1: 시료
- 3: 유리 구슬
- 4 : 바디부
- 10 : 고압 셀
- 11 : 유체 주입 포트
- 13 : 유체 배출 포트
- 15 : 온도 센서
- 16 : 압력 센서
- 18 : 스크린
- 19 : 투명창
- 20 : 축압기
- 30 : 메탄실린더
- 40 , 50 : 주사기형 펌프
- 63 : 후압력계
- 65 : 저울
- 67 : 분리기
- 70 : 가스 컬렉터
- 100 : 세립자 이동분석 X-ray CT 시스템
- 110 : X-ray CT 촬영부
- 120 : 서버
- 122 : 입력부
- 123 : 편집부
- 124 : 분석부
- 125 : 계산부
- 126 : 보정부

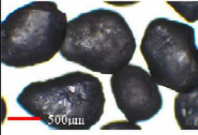
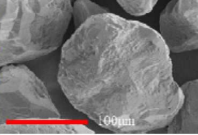
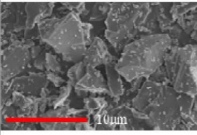
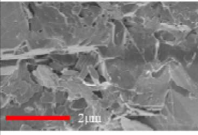
127 : 결과부

130 : 판단부

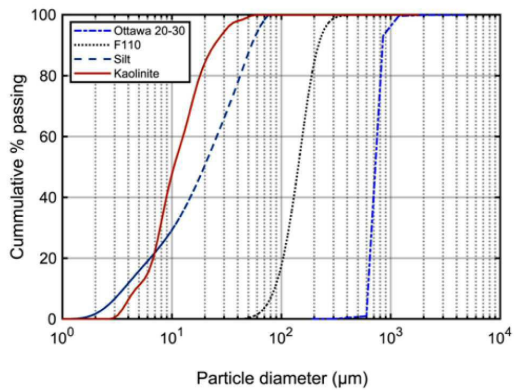
140 : 통신부

도면

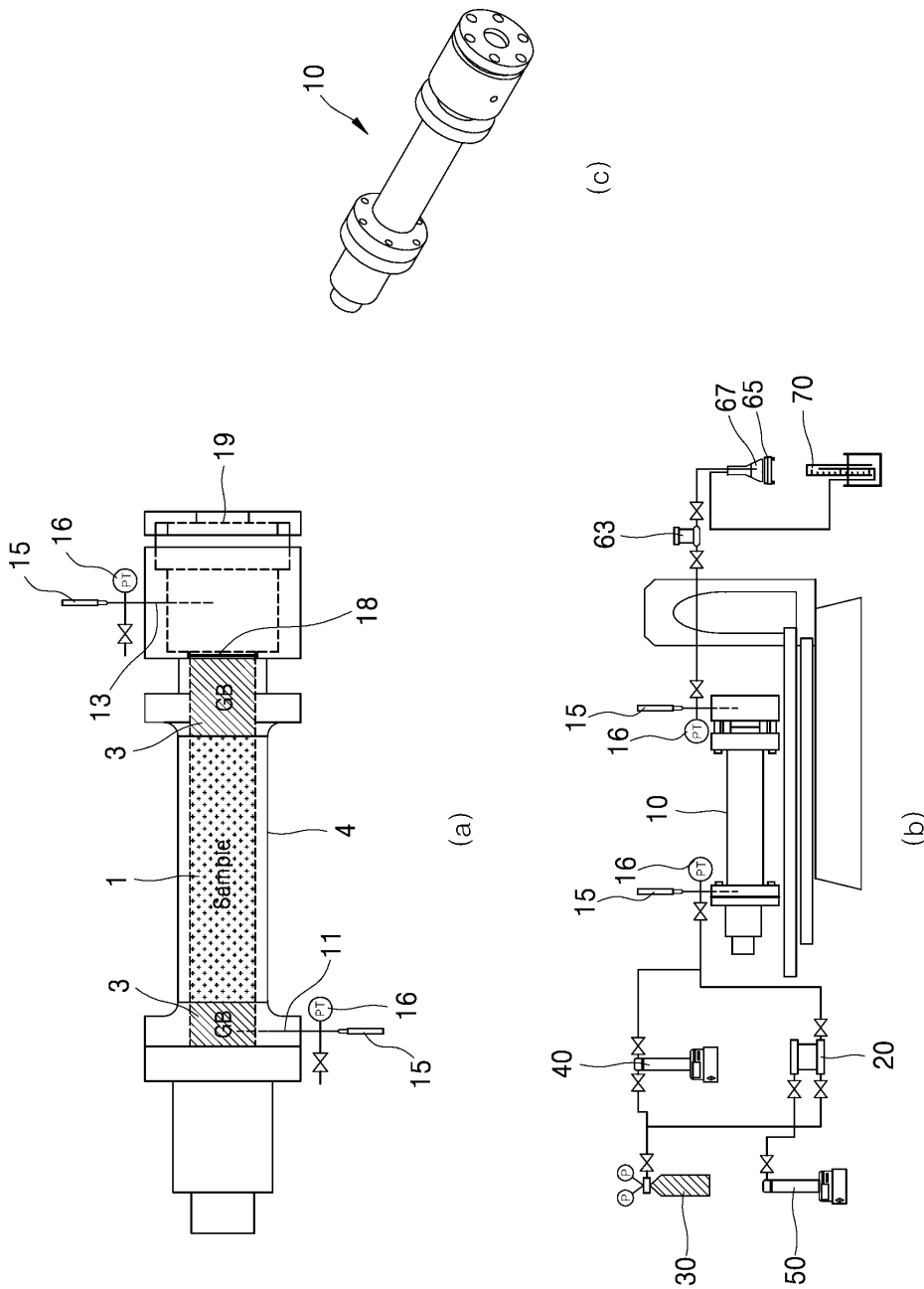
도면1

Parameter	Sand		Fines	
	Ottawa 20-30 sand	F110 sand	Silica silt	Kaolinite
Soil type	Ottawa 20-30 sand	F110 sand	Silica silt	Kaolinite
Mean grain diameter (μm)	722	142	20	10
Specific gravity	2.65	2.65	2.65	2.59
e_{max} / e_{min}	0.742/0.502 ^a	0.85/0.54 ^a	1.51/0.67 ^a	-
Plastic limit / Liquid limit	-	-	-	43/60
Void ratio of fines at 1 kPa e_{fines}^b			0.7	1.6
Specific surface area (m ² /g)	0.0031 ^c	0.016 ^c	0.67 ^c , 4.2 ^d	16 ^c , 41 ^d
Particle shape image				

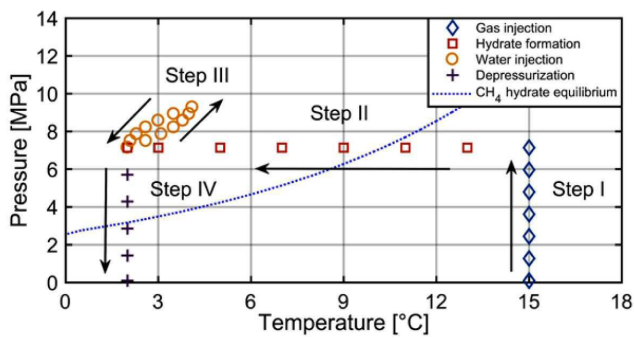
도면2



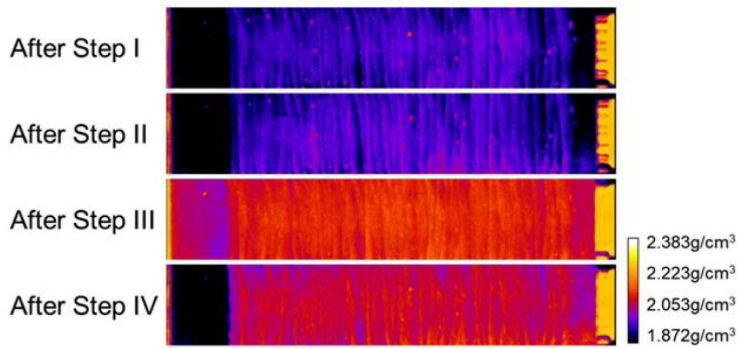
도면3



도면4



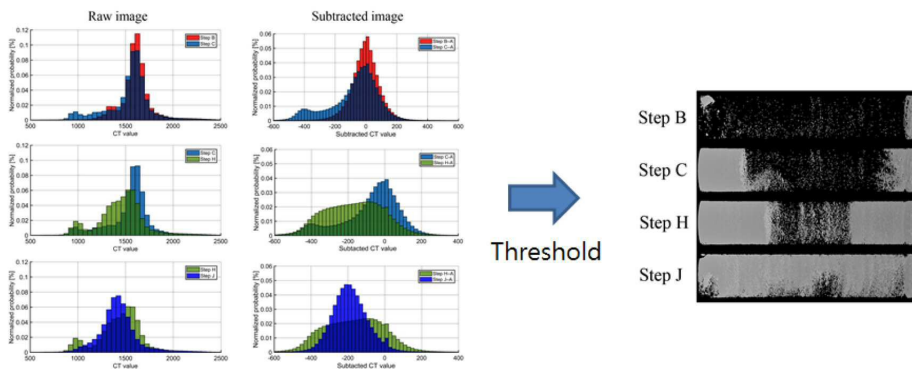
도면5



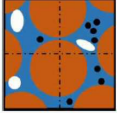
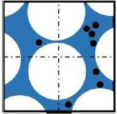
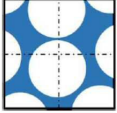
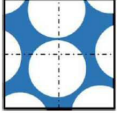
도면6

Sample preparation	Drawings
From image after gas injection but before, hydrate formation.	
$M_{total0} = M_{sand} + M_{fines0} + M_{water}$	
Water content, $w = M_{water} / (M_{sand} + M_{fines0})$	
Initial fines content, $FC_{ini} = M_{fines0} / (M_{sand} + M_{fines0})$	
$M_{sand} = (1 - FC_{ini}) \cdot M_{total0} / (1 + w)$	

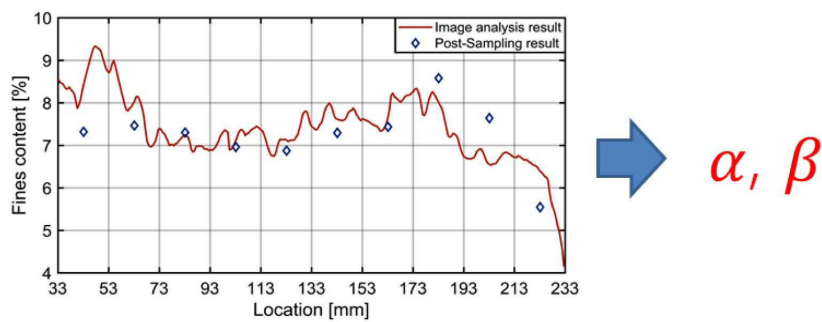
도면7



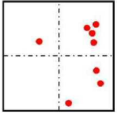
도면8

Depressurization	Drawings
From image after depressurization.	
$M_{total_J} = M_{sand} + M_{fines_J} + M_{water_J}$	
$M'_{total_J} = M_{total_J} + \rho_w \cdot V_{gas}$	
$M'_{total_J} - M_{sand} = M_{void_J}$	
$M_{void_J} = M_{fine_J} + M'_{water_J}$	
$V_{sand} = M_{sand} / G_s \cdot \rho_w$	
$V_{void} = V_{total} - V_{sand}$	
$M_{void} = \rho_w \cdot V_{void}$	

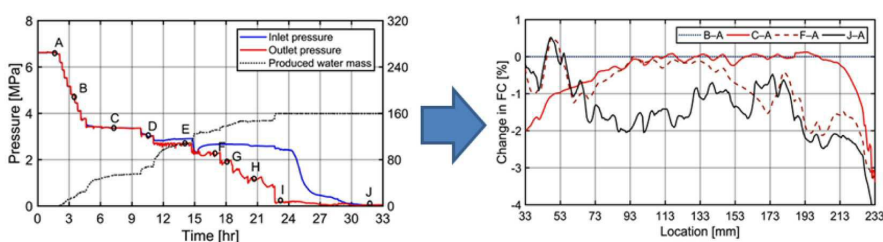
도면9



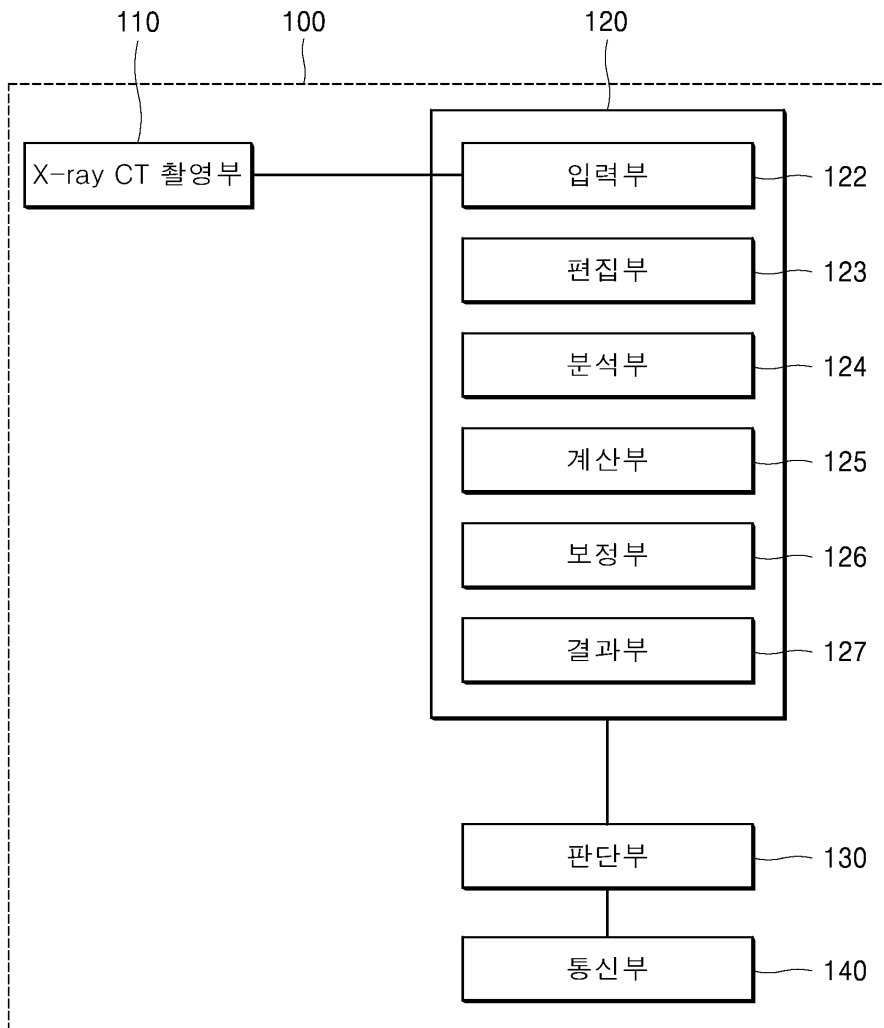
도면10

Calibration & Calculation Result	Drawings
$\Delta M = M_{void_J} - M_{void}$	
$M_{fines_J} = \Delta M \cdot G_s / (G_s - 1)$	
$FC_J = M_{fines_J} / (M_{fines_J} + M_{sand})$	
$FC_J = (M'_{total_J} - V_{total} \cdot \rho_w) \cdot G_s / (G_s - 1) - M_{sand}$	
$FC_{J_calibrated} = \alpha \cdot FC_J + \beta$	

도면11



도면12



도면13

