



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0002359
(43) 공개일자 2010년01월07일

(51) Int. Cl.

B09C 1/08 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0062217

(22) 출원일자 2008년06월30일

심사청구일자 2008년06월30일

(71) 출원인

한림대학교 산학협력단

강원 춘천시 한림대학길 39 한림대학교

한국산업개발 주식회사

강원 춘천시 온의동 152-5

(72) 발명자

김현기

대전광역시 서구 내동 롯데아파트 106동 1105호

(74) 대리인

이처영

전체 청구항 수 : 총 3 항

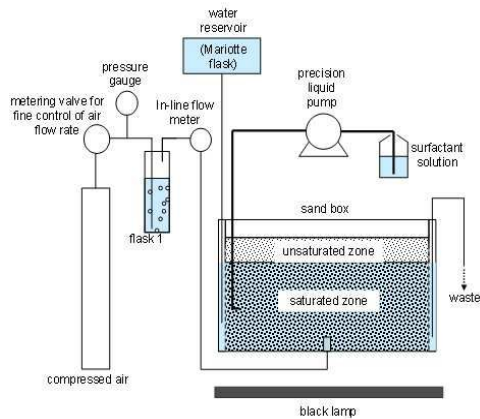
(54) 대수층 내 오염물질의 선택적 제거방법

(57) 요약

본 발명은 대수층 내 오염물질의 선택적 제거방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 대수층 내에 오염물질의 위치를 탐지하여 오염물질이 위치하는 대수층으로 계면활성제를 주입하여 계면활성제층을 형성한 후, 공기를 주입함으로써 대수층 내에 존재하는 오염물질만을 선택적으로 제거할 수 있는 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 대수층 내 오염물질만을 선택적으로 폭기시킴으로써 오염물질의 확산을 제한하는 동시에 폭기 효율을 향상시킬 수 있어, 효율적으로 대수층 내의 오염물질만을 선택적으로 제거할 수 있다. 또한, 대수층 내 오염물질에 대해서만 계면활성제 및 공기를 주입하므로 사용되는 계면활성제 및 공기의 양을 최소화하면서 오염물질 제거 효율을 극대화할 수 있고, 경제적인 효과도 도모할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 00023955

부처명 중소기업청

연구사업명 산학연공동기술개발컨소시엄사업

연구과제명 고온공기 및 계면활성제를 이용한 지하수 복원기술 개발

주관기관 한림대학교 산학협력단

연구기간 2007년 07월 01일 ~ 2008년 02월 28일

특허청구의 범위

청구항 1

다음의 단계를 포함하는, 대수층 내 오염물질의 선택적 제거방법:

- (a) 대수층 내 오염물질이 존재하는 위치에 가로방향으로 계면활성제 수용액을 주입하되, 대수층 내에서 흐르는 지하수 유량에 따라 주입되는 계면활성제 수용액 유량을 조절하여 계면활성제층을 형성하는 단계; 및
- (b) 상기 대수층의 하부에서 공기를 주입하여 대수층을 폭기시키되, 상기 형성된 계면활성제층에 따라 주입되는 공기 유량을 조절하여 대수층을 폭기시키는 단계.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 계면활성제는 음이온계 계면활성제 또는 비이온계 계면활성제인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 (a)단계에서 주입되는 계면활성제 수용액 유량은 대수층 내 지하수 유량과 오염물질의 양에 비례하는 것을 특징으로 하는 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 대수층 내 오염물질의 선택적 제거방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 대수층 내에 오염물질의 위치를 탐지하여 오염물질이 위치하는 대수층으로 계면활성제를 주입하여 계면활성제층을 형성한 후, 공기를 주입함으로써 대수층 내에 존재하는 오염물질만을 선택적으로 제거할 수 있는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 휘발성 유기오염물질(volatile organic compounds, VOCs)로 오염된 지하대수층 또는 포화층에 공기를 강제 주입함으로써 오염물질을 휘발시켜 불포화층에 설치된 포집관정을 통해 수집처리하는 지하수 폭기법(groundwater air sparging)은 현장적용을 통한 오염물질 제거효과가 검증된 환경복원 기술 중 하나이다(Marley *et al.*, *Ground Water Monit. Rev.*, 12:37-145, 1992; Johnson *et al.*, *Ground Water Monit. Rev.*, 13:127-135, 1993; Lundegard *et al.*, *Contam. Hydrol.*, 19:1-27, 1995; Rabiduar *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, 33:157-162, 1999; Reddy *et al.*, *Haz. Waste and Haz. Mat.*, 12:97-118, 1995; Reddy *et al.*, *Environ. Engrg.*, 124:288-299, 1998).
- <3> 일반적으로, 대수층으로 주입되는 공기는 제거하고자 하는 오염물질이 존재하는 위치보다 낮은 위치에서 공기관정을 통하여 대수층으로 주입되며 주입된 후 부력(buoyancy) 및 공기 압력구배(pressure gradient)에 의하여 상승 및 수평방향이동을 하게 된다. 이동하는 공기는 여러 가지 크기의 이동경로(channel)를 형성하게 되며 오염물질은 여러 물질이동 기작에 의하여 공기 층으로 이동하게 된다(Braida *et al.*, *Water Resour. Res.*, 34:3245-3253, 1998; Unger *et al.*, *Water Resour. Res.*, 31:1913-1925, 1995)).
- <4> 오염물질이 대수층에 존재하는 형태는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 첫째는 지하수에 용해된 상태로 존재하는 경우이고, 둘째는 물과 서로 섞이지 않는 불용성 유기물질의 덩어리(nonaqueous phase liquid, NAPL)의 형태로 물과 분리되어 존재하는 경우이다.
- <5> 폭기가 진행되는 동안 수용액상 오염물질은 수용액상 내부에서 확산에 의하여 물 표면을 거쳐 이동상인 공기로 물질이동이 발생하며, NAPL에 포함된 오염물질은 NAPL상으로부터 직접 휘발하여 공기로 이동할 수도 있고, NAPL상으로부터 수용액상으로 용해되는 과정을 거쳐 최종적으로 공기 층으로 이동할 수도 있다. 어떤 경우에도 지하수 폭기법에 의한 오염물질제거 효율을 결정하는 요인으로는 폭기가 실시되는 조건, 공학적 설계 및 오염물질 자체의 화학적 성질을 들 수 있다.

- <6> 오염물질이 지하수로부터 제거되는 궁극적인 상태는 가스이므로 비교적 증기압이 높은 물질의 제거속도가 동일한 운전조건에서 빠르게 나타난다. 또한 불균일한 매질에서는 공기에 도달하기까지의 지하수 내 물질이동 경로도 문제가 될 수 있는데, 수용액상 확산경향(확산계수)이 큰 물질이 보다 손쉽게 제거될 수 있다.
- <7> NAPL로부터 직접 공기 중으로 이동하는 기작이 지배적일 경우 NAPL상 내부에서 공기와 접촉하는 NAPL-공기의 계면으로 이동하는 확산이동의 속도가 폭기에 의한 제거효율에 영향을 미칠 수 있으며, 이때, NAPL의 조성이 폭기 시간의 경과에 따라 달라질 수 있으므로 제거 속도의 현저한 감소현상이 발생할 수 있다.
- <8> 오염물질을 포함하고 있는 매질의 물리 화학적 성질과 운전조건도 역시 폭기에 의한 오염물질 제거 효율에 절대적인 영향을 미친다. 폭기 영역의 매질 입자의 크기, 크기 분포 및 균일성(homogeneity), 공기주입 형태(연속적, 불연속적), 공기주입속도, 지하수의 유량 등도 지하수 폭기에 의한 휘발성 유기물질의 제거 효율에 크게 영향을 미치는 인자로 작용한다는 사실이 밝혀졌다(Reddy *et al.*, *Environ. Engrg.*, 124:288-299, 1998; Adams *et al.*, *Envir. Engrg.*, 126:697-707, 2000).
- <9> 지금까지 지하수 폭기법에 대한 연구는 NAPL로부터 지하수 또는 공기로의 물질이동 속도를 결정하는 인자들에 대한 것, 오염물질을 포함하는 매질의 물리적 특성에 따른 영향, 그리고 기본적인 공학적 인자들을 변화함으로써 폭기효율을 제고하려는 연구가 주를 이루었다. 최근에 대수층에 전면적으로 수용성 계면활성제를 투입하여 폭기하는 “surfactant-enhanced air sparging” 기법이 도입되어 그 효과가 보고된 바 있다(Kim *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, 38:1170-1175, 2004). 그러나, 이 새로운 기술은 대수층의 지하수를 전면적으로 계면활성제 수용액으로 치환함으로써 몇 가지 문제점을 갖고 있다. 즉, 계면활성제 수용액으로 대수층을 채우기 위해서는 다량의 수용액이 도입되어야 하고, NAPL등 오염물질이 존재하지 않는 지질층에도 불필요하게 계면활성제가 도입되어야 한다. 또 대수층 상하로 넓은 범위에 걸쳐 지하수의 표면장력이 감소하게 되면 NAPL의 수직이동을 야기하여 오염물질의 확산을 오히려 촉진할 가능성도 있다.
- <10> 한편 본 발명자들은 계면활성제를 이용하여 대수층 내 오염물질을 제거하는 방법에 관한 특허등록을 획득한 바 있으나 (한국등록특허 545,544), 상기 특허에서는 대수층 전체에 계면활성제를 공급하여 공기를 주입하므로, 오염물질만을 선택적으로 제거할 수 없는 문제점이 있음을 발견하였다.
- <11> 이에 본 발명자들은 종래 기술들의 문제점을 해결하고자 예의 노력한 결과, 대수층 내의 오염물질의 위치를 탐지한 후, 상기 오염물질로 직접 계면활성제를 주입하여 계면활성제층을 형성한 다음, 공기를 주입하여 폭기시킴으로써, 대수층 내의 오염물질만을 선택적으로 제거할 수 있다는 것을 확인하고 본 발명을 완성하게 되었다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <12> 본 발명의 목적은 대수층 내 오염물질의 선택적 제거방법을 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

- <13> 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 (a) 대수층 내 오염물질이 존재하는 위치에 가로방향으로 계면활성제 수용액을 주입하되, 대수층 내에서 흐르는 지하수 유량에 따라 주입되는 계면활성제 수용액 유량을 조절하여 계면활성제층을 형성하는 단계; 및 (b) 상기 대수층 하부에서 공기를 주입하여 대수층을 폭기시키되, 상기 형성된 계면활성제층에 따라 주입되는 공기 유량을 조절하여 대수층을 폭기시키는 단계를 포함하는 대수층 내 오염물질의 선택적 제거방법을 제공한다.

효 과

- <14> 본 발명에 따르면, 대수층 내 오염물질만을 선택적으로 폭기시킴으로써 오염물질의 확산을 제한하는 동시에 폭기효율을 향상시킬 수 있어, 효율적으로 대수층 내의 오염물질만을 선택적으로 제거할 수 있다. 또한, 대수층 내 오염물질에 대해서만 계면활성제 및 공기를 주입하므로 사용되는 계면활성제 및 공기의 양을 최소화하면서 오염물질 제거 효율을 극대화할 수 있고, 경제적인 효과도 도모할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <15> 본 발명에서 사용되는 용어 '대수층'은 지하수가 쉽게 흐를 수 있는 포화지질층을 의미하는 개념이다.
- <16> 본 발명은 일 관점에서, (a) 대수층 내 오염물질이 존재하는 위치에 가로방향으로 계면활성제 수용액을 주입하

되, 대수층 내에서 흐르는 지하수 유량에 따라 주입되는 계면활성제 수용액 유량을 조절하여 계면활성제층을 형성하는 단계; 및 (b) 상기 대수층 하부에서 공기를 주입하여 대수층을 폭기시키되, 상기 형성된 계면활성제층에 따라 주입되는 공기 유량을 조절하여 대수층을 폭기시키는 단계를 포함하는 대수층 내 오염물질의 선택적 제거 방법에 관한 것이다.

- <17> 본 발명은 대수층 내 오염물질만을 선택적으로 제거할 수 있다는 것을 특징으로 하며, 이를 위하여, 우선, 대수층 내 오염물질의 위치를 관측한다. 관측방법으로는 오염이 의심되는 지역에 대하여 굴착한 후, 굴착시료(core sample)에 대한 화학적 분석을 실시할 수도 있고, 대수층 내 유기오염물질이 물과 분리된 상태(nonaqueous phase liquid)로 존재할 경우에 수용액상 추적자기법을 실시할 수도 있으나, 이에 국한되는 것은 아니다.
- <18> 그 후, 상기 관측된 대수층 내 오염물질로 계면활성제 용액을 주입하는데, 상기 오염물질의 측면에서 가로방향으로 계면활성제 용액을 주입하며, 주입된 계면활성제 용액은 수평방향의 계면활성제층을 형성한다. 이때, 계면활성제를 오염물질이 존재하는 위치에 가로방향으로 주입할 경우, 지반의 지질층을 따라 가로방향으로 계면활성제층이 형성되게 된다.
- <19> 본 발명에 있어서, 상기 계면활성제는 음이온계 계면활성제 또는 비이온계 계면활성제인 것을 특징으로 할 수 있으며, 상기 음이온계 계면활성제는 천연비누, 직쇄알킬벤젠술포산염(linear alkylbenzene sulfonate, LAS), 알파올레핀술포산염(α -olefin sulfonate, AOS), 알킬황산에스테르염(alkyl sulfate, AS) 및 폴리옥시에틸렌알킬에스테르황산염(polyoxyethylene alkyl ester, AES)으로 구성된 군에서 선택되는 것을 특징으로 할 수 있고, 상기 비이온계 계면활성제는 지반생태계에 독성이 없거나 미미한 계면활성제로서 목표한 표면장력조절능력을 갖고 있는 비이온계 계면활성제라면 제한없이 않고 사용할 수 있으며, 구체적으로 상기 비이온계 계면활성제는 폴리옥시에틸렌알킬에스테르(polyoxyethylene alkylester, AE), 알킬디메틸알킬옥사이드(alkyldimethyl alkyloxide, AO), 지방산 알카놀아마이드(fatty acid alkanolamide, FAA) 및 알킬폴리글루코사이드(alkyl polyglycoside, APG)로 구성된 군에서 선택되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <20> 본 발명에 있어서, 상기 계면활성제층의 두께는 대수층 내 지하수 유량에 대한 주입되는 계면활성제 수용액 유량의 비에 비례하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <21> 상기 계면활성제층은 대수층 내 지하수 유량에 대한 주입되는 계면활성제 유량의 비를 변화시킴에 따라 계면활성제층의 두께가 변화한다는 실험결과를 토대로 하여, 그 두께를 조절할 수 있다. 구체적으로는 대수층 내 지하수 유량에 대한 주입되는 계면활성제 유량의 비가 증가함에 따라 계면활성제층의 두께가 비례하여 증가하므로, 대수층 내 오염물질의 분포 넓이에 따라 상기 오염물질로 주입되어 형성되는 계면활성제층의 두께를 조절할 수 있다.
- <22> 본 발명에 있어서, 상기 폭기되는 영역의 범위는 공기 유량에 비례하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <23> 계면활성제층이 형성되면, 대수층에 공기를 주입하여 대수층 내 오염물질을 폭기시킨다. 이때, 상기 주입되는 공기 유량을 변화시킴에 따라 폭기되는 영역의 범위가 변화하며, 구체적으로는, 공기 유량을 증가시킴에 따라, 폭기되는 영역의 범위가 수평으로 증가하므로, 주입되는 공기 유량을 변화시켜 오염물질의 분포 넓이에 따라 수평 방향의 폭기되는 영역의 범위를 조절할 수 있다.
- <24> 결국, 대수층 내 오염물질의 분포 넓이에 맞게 계면활성제층을 형성한 뒤, 공기를 주입하여 상기 오염물질만을 폭기시킴으로써, 대수층 내 오염물질만을 선택적으로 제거하는 기술을 구현할 수 있게 된다. 특히, 공기의 유량에 따라 변화하는 수평 방향의 폭기 영역의 범위를 조절할 수 있다.

실시예

- <25> 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 예시하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되는 것으로 해석되지 않는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명할 것이다.
- <26> **실시예 1: 계면활성제를 이용한 대수층 내 오염물질의 선택적 제거실험**
- <27> 1-1. 대수층 내 오염물질의 선택적 제거 실험을 위한 장치 및 재료
- <28> 대수층 내 오염물질의 선택적 제거 실험을 위한 실험장치의 모식도를 도 1에 나타내었다. 상기 실험장치는 계면활성제를 주입하기 위한 precision liquid pump(Yonglin, M925), 공기를 주입하기 위한 유량조절밸브(metering valve for fine control of air flow rate) 및 In-line flow meter를 포함하고 있다.

- <29> 실제 대수층을 구현하는 대수층 모델을 준비하기 위하여, 직경 500~1000 μm 의 범위를 가지는 석영질 모래를 선택하였고, 상기 석영질 모래를 수돗물로 수회 세척하여 점토 입자와 같은 콜로이드성 성분을 제거한 후 사용하였다.
- <30> 도 2는 대수층 모델을 나타내는 것으로, 상기 석영질 모래를 담은 상자는 투명한 PMMA(poly methylmetacrylate)재질로 제작하였고, 가로, 세로, 및 내부 폭은 각각 70cm, 50cm, 및 1.5cm로 하며, 왼쪽과 오른쪽 가장자리에 폭 2cm의 물 도입관정과 추출관정을 설치하였다. 두 개의 관정과 모래로 충전된 부분과는 약 0.5mm의 공극크기를 갖는 PE(polyethylene) sieve를 설치하여 모래가 관정으로 유입되는 것을 방지하도록 하였다. 상자에 충전된 석영질 모래의 높이는 48cm로 하고, 상자의 밑면으로부터 높이 33cm까지 물로 포화되도록 하였다. 이때, 도입관정을 통하여 일정한 속도(약 100ml/min)로 물(증류수)가 도입되며, 추출관정에 연결된 물 추출관의 끝부분의 높이를 조절하여 추출관정으로부터 제거되는 물의 속도도 물의 도입속도와 동일하게 유지되도록 하였다.
- <31> 1-2. 대수층 내 오염물질의 위치 측정
- <32> 상기 1-1의 실험장치에 포함된 대수층 모델에서 오염물질의 위치를 상자 밑면을 기준으로 하여 줄자로 측정하였다.
- <33> 한편, 실제 대수층에서는 오염물질의 위치를 토양굴착시료(core sample)의 분석을 통하여 알아내거나, 보다 정밀한 방법으로서 대수층 추적자(tracer) 기법을 이용하여 측정할 수 있다.
- <34> 1-3. 계면활성제 용액 주입
- <35> 계면활성제는 음이온계 계면활성제인 SDBS(sodium dodecyl benzene sulfonate, Tokyo Kasei Kogyo Co. Ltd., Reagent grade)를 사용하였다. 100mg/L의 농도로 SDBS 계면활성제 수용액을 제조하였으며, 이때 상기 SDBS 계면활성제 수용액의 표면장력은 50.2 dyne/cm로 측정되었다.
- <36> 또한, 대수층 모델에 상기 SDBS 계면활성제 수용액에 100mg/L의 농도로 sodium fluorescein (Sigma, reagent grade)을 첨가하였다. sodium fluorescein은 계면활성제 용액을 상기 대수층 모델에 주입하여 실험할 때 형광램프를 이용하여 계면활성제 용액의 적용 범위를 관측하기 위하여 이용하였다.
- <37> 1-1의 실험장치의 precision liquid pump를 이용하여 sodium fluorescein을 포함하는 SDBS 계면활성제 수용액을 대수층 모델의 포화층으로 주입하였으며, 이때, 상기 sodium fluorescein을 포함하는 SDBS 계면활성제 수용액을 대수층 모델의 상자 밑면으로부터 각각 22.5cm 및 6.5cm의 높이의 측면에서 주입하였다.
- <38> 이때, 상기 SDBS 계면활성제 수용액의 유량은 7ml/min로 하여 주입하였으며, 실제 대수층에서 흐르는 지하수를 대신하여, 증류수를 100ml/min의 유량으로 동시에 주입하였다.
- <39> 그 후, balck lamp 하에서 나타나는 sodium fluorescein에 의한 형광 연두색을 이용하여 계면활성제층의 형성 여부를 관찰한 결과, 도 3에 나타난 바와 같이, 계면활성제 용액을 대수층 모델의 22.5cm 높이에서 주입한 경우(도 3의 (a)) 및 6.5cm 높이에서 주입한 경우(도 3의 (b))에서 모두 수평으로 안정적인 계면활성제층이 형성되는 것을 확인할 수 있었다.
- <40> 한편, 증류수의 유량과 계면활성제 용액의 유량을 달리하여 주입할 경우, 형성되는 계면활성제의 두께가 달라진다. 즉, 얇은 계면활성제층을 형성하기 위해서는 증류수 유량에 대한 계면활성제 용액의 유량의 비가 작아야 한다.
- <41> 1-4. 공기 주입
- <42> 1-1의 실험장치의 압축공기실린더에 연결된 유량조절밸브와 flow meter를 이용하여 주입되는 공기 유량이 100, 200, 300, 및 500ml/min이 되도록 하여, 22.5cm 및 6.5cm 높이에 계면활성제층이 각각 형성된 2개의 대수층 모델에 공기를 주입하였다.
- <43> 그 결과, 도 4에 나타난 바와 같이, 각각의 대수층 모델에서 폭기가 일어나는 것을 확인할 수 있었으며, 구체적으로는, 22.5cm 높이에 계면활성제층이 형성된 대수층 모델에 공기 유량을 100, 200, 300, 및 500ml/min으로 증가시키면서 주입할수록 폭기되는 영역의 범위가 수평으로 넓어지는 것을 확인할 수 있었고 (도 4의 (a-1), (a-2), (a-3) 및 (a-4)), 6.5cm 높이에 계면활성제층이 형성된 대수층 모델에서도 공기 유량을 100, 200, 300, 및 500ml/min으로 증가시키면서 주입할수록 폭기되는 영역의 범위가 수평으로 넓어지는 것을 확인할 수 있었다 (도 4의 (b-1), (b-2), (b-3) 및 (b-4)).

<44> 결국, 대수층에 주입되는 공기 유량이 증가할수록 폭기되는 영역도 수평으로 증대되는 것을 알 수 있었으며, 공기가 주입되기 전에 형성된 계면활성제층의 위치에 상관없이 폭기되는 영역이 수평으로 증대되는 현상이 동일하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

<45> **비교예 1: 계면활성제를 이용하지 않고, 대수층 내 오염물질 제거실험**

<46> 실시예 1에서, 계면활성제 용액을 주입하는 단계를 생략하고, 1-1의 실험장치의 대수층 모델에 공기 주입을 실시하였다. 주입되는 공기의 유량은 각각 200ml/min 및 500ml/min로 하여 공기를 주입하여 대수층을 폭기시켰다.

<47> 그 결과, 도 5에 나타난 바와 같이, 주입되는 공기의 유량이 200ml/min일 경우(도 5의 (a))와 공기의 유량이 500ml/min일 경우(도 5의 (b))에서 공기 주입에 의해 유발되는 폭기되는 영역의 범위가 유사하게 나타났다.

<48> 즉, 계면활성제를 이용하지 주입되지 않고 공기 주입만을 이용하여 대수층을 폭기시킬 경우, 공기 유량이 변화하더라도 폭기되는 영역의 범위는 유사하게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

<49> **실험예 1: 계면활성제 유무에 따른 공기 유량과 폭기되는 영역의 범위의 관계**

<50> 계면활성제를 주입하였을 경우와 계면활성제를 주입하지 않았을 경우에 공기 유량과 폭기되는 영역의 범위의 관계를 확인하기 위하여, 도 4 및 도 5에 나타난 폭기되는 영역의 범위를 투명필름에 옮겨 그 면적을 측정하여 비교하였다. 폭기되는 영역은 투명아크릴 재질의 상자모델 벽면에 나타난 불포화 영역(즉, 초기에는 포화상태였으나 폭기에 의하여 공기가 진입한 부분)을 육안으로 관측하여 상자모델의 외벽에 부착된 투명필름에 옮긴 후, 투명필름을 컴퓨터 스캐너로 스캔하여 면적을 측정하는 방식으로 측정하였다. 비교대상은 계면활성제를 대수층 모델의 22.5cm에서 주입한 경우, 6.5cm 높이에서 주입한 경우 및 계면활성제를 주입하지 않은 경우이다.

<51> 그 결과, 도 6에 나타난 바와 같이, 공기 유량이 100ml/min일 때 폭기되는 영역의 범위는 세 경우가 거의 차이가 없으나, 계면활성제를 대수층 모델의 22.5cm 및 6.5cm 주입한 경우는 공기 유량이 200, 300, 500 ml/min으로 증가할수록 폭기되는 영역의 범위도 정비례하여 증가하는 반면, 계면활성제를 주입하지 않은 경우는 유량이 증가하여도 폭기되는 영역의 범위가 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 나타났다.

<52> 이상으로 본 발명 내용의 특정한 부분을 상세히 기술하였는 바, 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 있어서, 이러한 구체적 기술은 단지 바람직한 실시양태일 뿐이며, 이에 의해 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아닌 점은 명백할 것이다. 따라서, 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 청구항들과 그것들의 등가물에 의하여 정의된다고 할 것이다.

도면의 간단한 설명

<53> 도 1은 대수층 내 오염물질의 선택적 제거 실험을 위한 실험장치의 모식도를 나타낸 것이다.

<54> 도 2는 대수층 내 오염물질의 선택적 제거 실험을 위한 실험장치에 포함되어 있는 대수층 모델을 나타낸 것이다.

<55> 도 3은 대수층 모델의 22.5cm 높이에 형성된 계면활성제층(도 3의 (a)) 및 6.5cm 높이에 형성된 계면활성제층(도 3의 (b))를 나타낸 것이다.

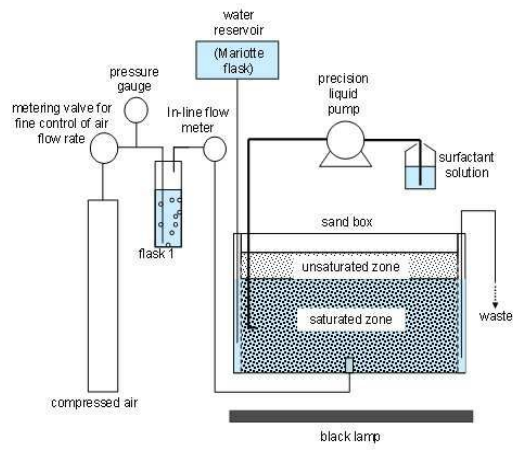
<56> 도 4는 대수층 모델의 22.5cm 높이에 형성된 계면활성제층에 공기 유량을 각각 100, 200, 300, 및 500ml/min로 하여 주입하였을 때 나타난 폭기되는 영역의 범위(도 4의 (a-1), (a-2), (a-3) 및 (a-4)) 및 대수층 모델의 6.5cm 높이에 형성된 계면활성제층에 공기 유량을 각각 100, 200, 300, 및 500ml/min로 하여 주입하였을 때 나타난 폭기되는 영역의 범위(도 4의 (b-1), (b-2), (b-3) 및 (b-4))를 나타낸 것이다.

<57> 도 5는 대수층 모델에 계면활성제 용액을 주입하지 않고, 공기 유량을 200ml/min로하여 공기를 주입하였을 때 나타난 폭기되는 영역의 범위(도 5의 (a)) 및 공기 유량을 500ml/min로 하여 공기를 주입하였을 때 나타난 폭기되는 영역의 범위(도 5의 (a))를 나타낸 것이다.

<58> 도 6은 계면활성제 유무에 따른 공기 유량과 폭기되는 영역의 범위의 관계를 나타낸 것이다.

도면

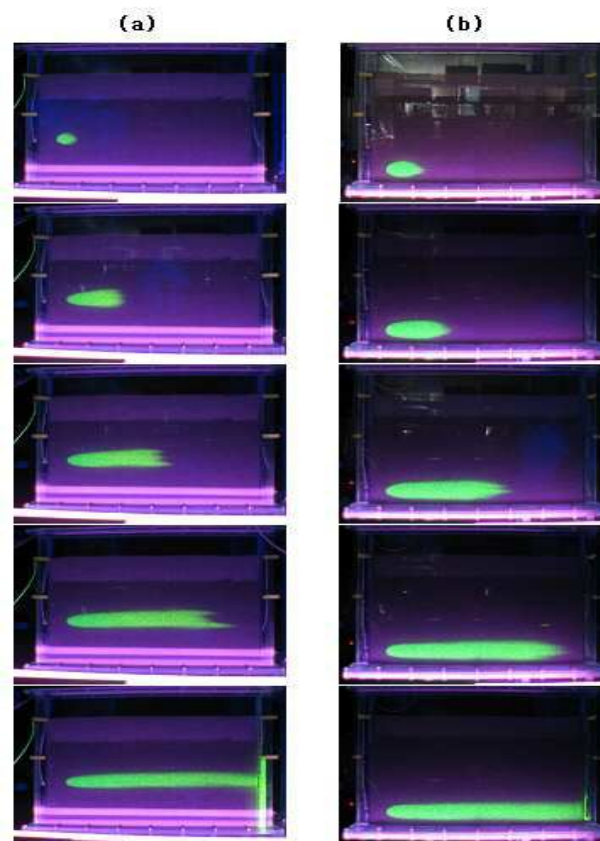
도면1



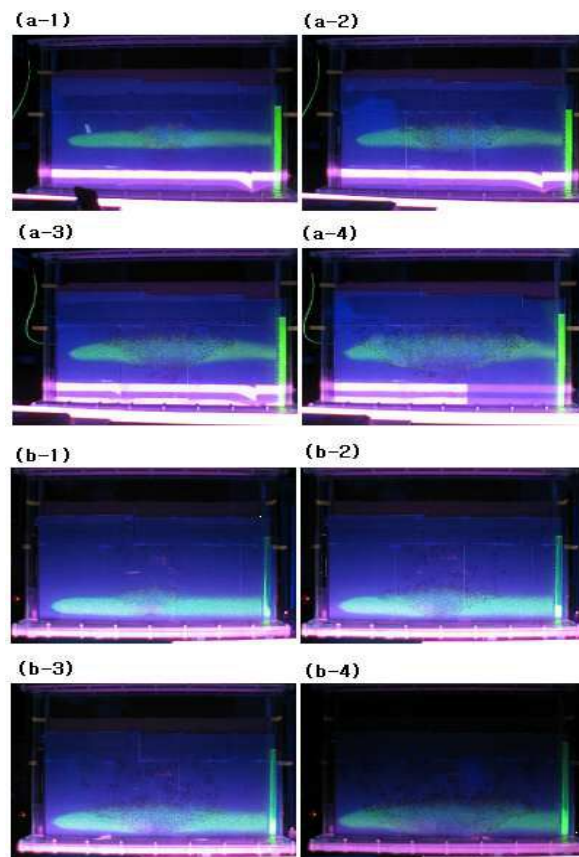
도면2



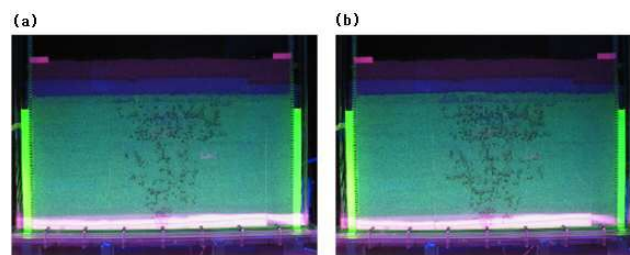
도면3



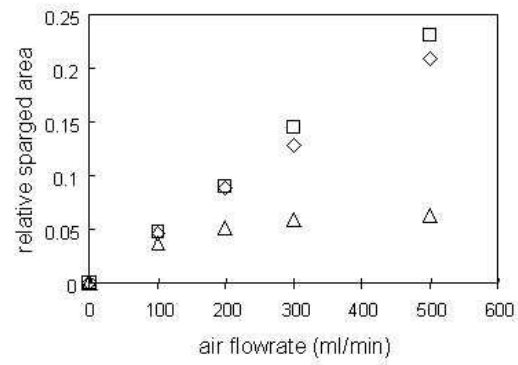
도면4



도면5



도면6



□ 계면활성제를 대수층 모델의 22.5cm 높이에 주입하였을 경우
 ◇ 계면활성제를 대수층 모델의 6.5cm 높이에 주입하였을 경우
 △ 계면활성제를 주입하지 않았을 경우