(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년12월22일
(11) 등록번호 10-1096100
(24) 등록일자 2011년12월15일

(51) Int. Cl.
B09C 1/08 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0096156
(22) 출원일자 2011년09월23일
심사청구일자 2011년09월23일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020100084993 A
JP2003039059 A
JP2007216156 A
KR100767339 B1

(73) 특허권자
경상대학교산학협력단
경상남도 진주시 가좌동 900
(주)동명엔터프라이즈
서울특별시 강남구 역삼동 839-11
(72) 발명자
김순오
인천광역시 계양구 계산동 941 신도브래뉴아파트 104-701
김주영
서울특별시 서초구 서초동 1336 우성아파트 10-1001
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
민만호, 김기정, 정훈

전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 박수진

(54) 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법 및 정화장치

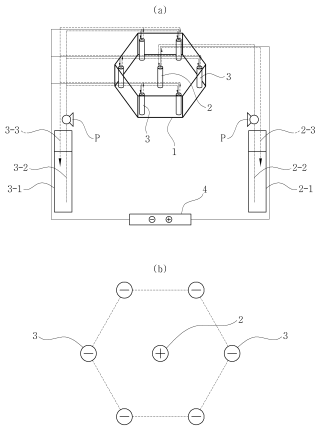
(57) 요 약

본 발명은 불소로 오염된 토양을 정화함에 있어서, 전극배열을 2차원적 전극배열에 의한 동전기 기술을 이용하여 불소 오염토양을 정화하는 방법 및 장치를 제공하는 것을 목적으로 하는 것이다.

본 발명의 구성으로는 불소오염토양지(1) 내의 불소오염토양(H)의 중심에 설치된 양극부(2)와 양극부(2)를 중심으로 불소오염토양(H)의 외곽에 육각형으로 배열된 6개의 음극부(3)로 이루어진 2차원적 전극배열에 전원을 하는 것으로 이루어진 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법 및 정화장치이다.

본 발명에 따른 2차원적 전극배열에 의한 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법 및 장치는 종래기술의 1차원 전극배열보다 사용하는 전극의 개수를 줄여 전극 제작비와 설치비 등의 전극에 소요되는 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 불소의 이동속도를 증가시킴으로써 공정 효율의 증진과 더불어 전기에너지 소요 비용을 절감시키고, 또한, 상기 삼각형의 2차원 전극배열의 순차적인 운전을 통하여 육각형의 2차원적 전극배열과 균등한 정도의 공정 효율을 유지하면서 전극비용을 절반으로 절감할 수 있는 향상된 효과를 얻는다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

정지웅

서울특별시 강남구 도곡동 417-1 우성빌라 402호

이우춘

경상남도 사천시 서포면 구평리 565-1번지

특허청구의 범위

청구항 1

불소오염토양지(1)의 불소오염토양(H)에 양극부(2)와 음극부(3)를 설치하고, 양극부(2)와 음극부(3) 각각에 전해질용액의 주입 및 배출에 의해 전해질용액을 순환시키면서 양극부(2)와 음극부(3)에 전원을 인가하여 양쪽 전극부 사이에서 발생되는 동전기를 이용한 불소오염토양의 정화방법에 있어서,

상기 양극부(2)를 불소오염토양(H)의 중심에 설치하고, 상기 음극부(3)를 불소오염토양(H)의 외곽에 상기 양극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열된 6개의 상기 음극부(3)를 설치한 2차원적 전극배열에 전원을 인가하는 것을 특징으로 하는 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 양극부(2)와 음극부(3)가 다 같이 전극(a)와 전극을 수용하는 다공성의 중공관(b)로 이루어진 것을 특징으로 하는 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서, 2차원적 전극배열은 양극부(2)가 불소오염토양(H)의 중심에 설치되고, 음극부(3)는 상기 양극부(2)를 중심으로 하여 불소오염토양(H) 외곽에 6개의 음극부(3)가 육각형으로 배열되게 설치하되, 6개의 음극부(3) 중에서 하나 걸러 하나씩 음극부(3)를 설치하여 3개의 음극부(3)가 삼각형이 되게 배열하고, 나머지 3개의 음극부(3)에는 전극(a, 음극)을 수용하는 다공성의 중공관(b) 만을 설치한 2차원적 전극배열에 전원을 순차적으로 인가하는 것을 특징으로 하는 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법.

청구항 4

청구항3에 있어서, 2차원적 전극배열에 전원을 순차적으로 인가하는 방식은 음극부(3)가 설치된 3개의 음극부(3)에 먼저 전원을 인가한 후 음극부(3)에서 전극(a, 음극)을 이탈시켜 전극이 없는 다공성의 중공관(b)에 전극(a, 음극)을 수용시켜 전극위치를 변환한 다음 전원을 인가하는 것을 특징으로 하는 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서, 전극위치를 변환시키는 시점이 총 정화공정기간의 1/2시점으로 하여 순차적으로 전원을 인가하는 것을 특징으로 하는 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법.

청구항 6

불소오염토양지(1)의 불소오염토양(H)에 설치된 양극부(2) 및 음극부(3)와, 양극부(2)와 음극부(3) 각각에 펌프(P)로 접속된 전해질용액 저장탱크(2-1, 3-1)와, 양극부(2) 및 음극부(3)에 전원을 인가하는 전원공급수단(4)으로 이루어진 동전기를 이용한 불소오염토양의 정화장치에 있어서,

상기 양극부(2)는 불소오염토양(H)의 중심에 설치되고, 상기 음극부(3)는 불소오염토양(H)의 외곽에 상기 양극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열되게 6개의 음극부(3)가 설치된 2차원적 전극배열로 이루어진 것을 특징으로 하는 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화장치.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 양극부(2)와 음극부(3)가 다 같이 전극(a)와 전극을 수용하는 다공성의 중공관(b)로 이루어진 것을 특징으로 하는 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화장치.

청구항 8

청구항 7에 있어서, 2차원적 전극배열은 양극부(2)가 불소오염토양(H)의 중심에 설치되고, 상기 양극부(2)는 불소오염토양(H) 외곽에 상기 양극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열되게 6개의 음극부(3)를 설치하되, 6개

의 음극부(3) 중에서 하나 걸러 하나씩 음극부(3)를 설치하여 3개의 음극부(3)가 삼각형이 되게 배열하고, 나머지 3개의 음극부(3)에는 전극(a, 음극)을 수용하는 다공성의 중공관(b) 만을 설치한 2차원적 전극배열로 이루어진 것을 특징으로 하는 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화장치.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 동전기 기술을 이용하여 불소로 오염된 토양을 정화하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 불소는 무기화합물로서 화학적 활성이 극히 강한 특성으로 인해 유리제조업, 알루미늄과 철 제조공정, 전기도금 공정 및 전자관련 부분에서 많이 사용되고 있으므로 이러한 산업체로부터 상당량의 불소가 포함되어 있는 배출수와 폐기물이 배출되고 있으며, 또한, 자연적으로는 형석(CaF_2)이나 빙정석(Na_3AlF_6) 등을 많이 함유하는 지역에도 상당량의 불소가 포함되어 있다.

[0003] 불소에 의한 오염은 주로 상/하수, 지하수 등을 통해 인간에게 직접적 영향을 끼치기 때문에 수질을 개선하기 위한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 불소로 오염된 토양을 정화하는 기술의 개발은 아직 부족한 실정이다.

[0004] 불소로 오염된 토양을 복원하는 기술로는 토양세척(soil washing) 공법이 주로 이용되지만, 최근 원위치처리가 가능하면서 효율적이고 경제적인 동전기 기술이 각광받고 있다. 또한, 동전기 기술은 토성의 영향을 비교적 적게 받기 때문에 다양한 오염토양에 적용할 수 있으며, 특히, 동전기 기술은 수리전도도가 매우 낮은 토양에서 오염물을 제거하는데 효과적으로 적용할 수 있는 기술로서, 물을 함유한 토양과 같은 다공질매체에 직류전류를 공급하였을 때 극성을 띠는 물질들이 전기적인 동력에 의해 이동하는 특성을 이용하는 것이다.

[0005] 상기 동전기 기술을 이용한 오염토양 정화기술은 타의 오염토양 정화기술에 비하여 상대적으로 오염물질의 종류나 토성에 영향을 적게 받는 기술로 그 적용사례가 증가하고 있으며, 동전기 기술을 현장에 적용할 경우 전극배열방식은 중요한 설계인자 중 하나이지만 지금까지 적용된 대부분의 정화공정은 도 1에 도시된 종래기술인 동전기 기술을 이용한 오염토양 정화기술과 같이 전극배열방식이 동일한 개수의 양극과 음극이 일대일로 대응하는 1차원적 전극배열만을 이용하여 왔다.

[0006] 동전기 기술을 이용한 오염토양 정화기술과 관련한 선행기술로 예를 들면, 국내 등록특허공보 등록번호10-0406766호에 중금속(구리, 아연 등)으로 오염된 토양에 세척제를 주입시키며, 토양의 pH조절이 원활하게 이루어지도록 함과 아울러 동전기를 이용함으로써, 오염물질을 효율적으로 제거할 수 있도록 한 동전기를 이용한 토양정화방법을 개시하고 있으며, 국내 공개특허공보 공개번호 10-2006-0036963호에는 음극부에 채움재로 pH 완충능이 큰 황(S), 철(Fe)을 함유한 재료와 중금속 흡착능이 큰 탄산염 재료를 사용하고, 중금속과 유기오염물의 흡착능이 우수한 활성탄소섬유 필터를 설치하여 중금속과 유기오염물로 오염된 동전기 지반(토양) 정화 처리시스템을 개시하고 있으나, 상기 선행기술은 다 같이 동전기 기술의 중요한 설계인자 중 하나인 전극배열방식에 대하여 특별한 개선된 기술이 없는 1차원적 전극배열을 개시하고 있다.

[0007] 또 국내등록특허공보 등록번호10-0767339호의 동전기를 이용한 불소 오염된 토양의 정화방법은 알칼리 용액, 바람직하게는 수산화나트륨(NaOH) 또는 수산화칼륨(KOH) 전해질을 사용하여 불소 오염된 토양을 알칼리 조건으로 만들고, 동전기 기술을 이용하여 토양으로부터 불소를 제거하는 토양정화방법을 개시하고 있으나, 여전히 동전기 기술의 중요한 설계인자 중 하나인 전극배열방식에 대하여 특별히 개선된 기술이 없는 1차원적 전극배열을 개시하고 있다.

[0008] 상기 공지기술에서 개시하고 있는 1차원적 전극배열은 전극 설치가 용이하지만, 토양으로부터 제거된 오염물질을 함유한 세척수를 여러 개의 전극부로부터 회수해야 하기 때문에 전체적인 운전 및 관리 비용을 증가시키며, 뿐만 아니라, 1차원적 전극배열에서는 양극과 음극이 각각 일대일로 대응하기 때문에 선형의 전기장이 형성되어 공정이 진행되면서 오염물질이 이동함에 따라 토양 공극의 막힘 현상으로 전기 저항의 증가에 따른 전기에너지 비용의 상승 및 공정효율의 저하 등이 초래될 수 있으며, 또 동전기 공정의 총 소요비용 중 전극비용이 차지하는 비율이 가장 크고, 1차원적 전극배열에는 전극이 많이 소요되기 때문에 1차원적 전극배열을 이용할 경우 경제성을 확보하기가 어려우므로 동전기 공정의 효율성 및 경제성을 향상시키기 위하여 전극배열에 대한 보다 개

선된 기술개발이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기한 종래기술의 1차원적 전극배열이 갖는 문제점을 해결하기 위하여 전극배열방식을 개선함으로써 동전기 공정의 효율을 향상시키고, 처리비용을 절감시키는 경제적인 불소 오염토양의 정화방법 및 정화장치의 제공을 목적으로 하는 것이며, 보다 구체적으로는 불소로 오염된 토양을 정화함에 있어서, 전극배열을 2차원적 전극배열에 의한 동전기 기술을 이용하여 불소 오염토양을 정화하는 방법 및 장치를 제공하는 것을 목적으로 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 목적달성을 위한 2차원적 전극배열방식에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법의 해결수단은 불소오염토양지(1)의 불소오염토양(H)에 양극부(2)와 음극부(3)를 설치하고, 양극부(2)와 음극부(3) 각각에 전해질용액의 주입 및 배출에 의해 전해질용액을 순환시키면서 양극부(2)와 음극부(3)에 전원을 인가하여 양쪽전극부 사이에서 발생되는 동전기를 이용한 불소오염토양의 정화방법에 있어서, 상기 양극부(2)를 불소오염토양(H)의 중심에 설치하고, 상기 음극부(3)를 불소오염토양지(H)의 외곽에 상기 양극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열된 6개의 상기 음극부(3)를 설치한 2차원적 전극배열에 전원을 인가하는 것으로 이루어진 것이다.

[0011] 상기 양극부(2) 및 음극부(3)는 다 같이 봉 또는 막대형상으로 이루어진 전극(a)와 전극을 수용하는 중공관(b)로 이루어져 있으며, 중공관의 벽에는 전해질용액이 유통할 수 있는 통로가 형성되어 있다. 또 전해질용액은 토양 내의 불소를 용출시켜 이동성을 증가시키기 위하여 양극과 음극의 전해질용액은 NaOH 용액을 사용하는데 양극전해질용액의 경우 양극부(2)에서 발생하는 물의 전기분해 반응에 의해 pH가 감소하기 때문에 주기적인 NaOH의 공급 또는 전해질 교체를 통해 10 이상의 pH를 유지하고, 음극전해질용액의 경우에는 음극부에서 발생하는 물의 전기분해 반응에 의해 pH가 지속적으로 증가하기 때문에 중성 또는 양극전해질용액으로 사용된 동일한 NaOH용액을 이용하는 것이 바람직하다.

[0012] 상기한 본 발명에 따른 2차원적 전극배열은 불소오염토양지(1) 내의 불소오염토양(H)의 중심에 양극부(2)를 설치하고, 불소오염토양(H) 외곽에 양극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열된 6개의 음극부(3)를 설치한 2차원적 전극배열(이하에서는 '육각형의 2차원적 전극배열'로 정의합니다)로 이루어진 것이며, 이러한 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열에 의해 불소를 중심부의 양극부로 이동시켜 제거하는데 있어서, 상기 2차원 전극배열의 비선형적인 전기장의 형성에 의하여 중심부의 양극부로 갈수록 전류밀도가 증가함에 따라서 불소의 제거속도를 증가시킴으로써 공정의 효율을 향상시킬 수 있고, 적은 전력소모량으로 제거효율을 증진시킬 수 있기 때문에 전기에너지 소요 비용을 절감할 수 있으며, 또한, 필요한 전극의 개수를 줄임으로써 도 1에 도시된 종래기술의 1차원적 전극배열에 비하여 전극 제작 및 설치에 소요되는 비용을 절감할 수 있는 특징이 있다.

[0013] 본 발명에 따른 2차원적 전극배열에 있어서, 또 다른 2차원적 전극배열로는 상기 양극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열된 6개의 음극부(3) 중에서 하나 걸러 하나씩 3개의 음극부(3)가 양극부(2)를 중심으로 삼각형을 이루도록 배열하고, 나머지 음극부(3)는 전극(a, 음극)을 수용하는 다공성의 중공관(b) 만을 설치하는 2차원적 전극배열(이하에서는 '삼각형의 2차원적 전극배열'로 정의합니다)로 이루어진다.

[0014] 그리고 상기 삼각형의 2차원적 전극배열에 전원을 인가하는 전원공급방식으로는 음극부(3)가 미리 설치된 삼각형 배열의 음극부(3)에 먼저 일정기간 전원을 인가해 준 다음, 미리 설치된 삼각형 배열의 음극부(3)에서 전극(a, 음극)을 이탈시켜 나머지 3개의 다공성의 중공관(b)에 전극(a, 음극)을 수용시켜 음극부의 위치를 변환시킨 후 전원을 인가하는 전원공급방식, 즉, 3개의 음극부(3)가 양극부(2)를 중심으로 중첩되는 2개의 삼각형을 이루도록 배열하고, 음극부를 옮겨가면서 위치를 변환시켜 전원을 인가해 주는 방식에 의한 불소오염토양의 정화방법이며, 상기 육각형의 2차원적 전극배열과 같은 정도의 제거효율을 얻음과 동시에 음극부의 전극개수를 반으로 줄임으로써 전극비용을 절감하는 특징이 있다.

[0015] 본 발명의 또 다른 목적을 달성하기 위한 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화장치의 해결수단은 불소오염토양지(1)의 불소오염토양(H)에 설치된 양극부(2) 및 음극부(3)와, 양극부

(2)와 음극부(3) 각각에 펌프(P)로 접속된 전해질용액 저장탱크(2-1, 3-1)와, 양극부(2) 및 음극부(3)에 전원을 인가하는 전원공급수단(4)으로 이루어진 동전기를 이용한 불소오염토양의 정화장치에 있어서, 상기 양극부(2)는 불소오염토양(H)의 중심에 설치되고, 상기 음극부(3)는 불소오염토양(H)의 외곽에 상기 양극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열되게 6개의 음극부(3)가 설치된 2차원적 전극배열로 이루어진 것이다.

[0016] 또한, 본 발명의 또 다른 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화장치의 해결수단은 불소오염토양지(1)의 불소오염토양(H)에 설치된 양극부(2) 및 음극부(3)와, 양극부(2)와 음극부(3) 각각에 펌프(P)로 접속된 전해질용액 저장탱크(2-1, 3-1)와, 양극부(2) 및 음극부(3)에 전원을 인가하는 전원공급수단(4)으로 이루어진 동전기를 이용한 불소오염토양의 정화장치에 있어서, 상기 양극부(2)가 불소오염토양(H)의 중심에 양극부(2)가 설치되고, 상기 음극부(3)는 불소오염토양(H) 외곽에 양극부(2)를 중심으로 육각형의 배열로 6개의 음극부(3)를 설치하되, 6개의 음극부(3)를 하나 걸러 하나씩 3개의 음극부(3)가 삼각형의 배열이 되도록 설치하고, 나머지 3개의 음극부에는 전극(a, 음극)을 수용하는 다공성 중공관(b) 만을 설치한 2차원적 전극배열로 이루어진 것이다.

[0017] 즉, 상기 본 발명의 또 다른 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화장치는 육각형의 2차원적 전극배열과는 달리, 양극부(2)를 중심으로 육각형의 배열로 6개의 음극부(3)를 설치하되, 6개의 음극부(3)를 하나 걸러 하나씩 3개의 음극부(3)가 삼각형의 배열이 되도록 설치하고, 나머지 3개의 음극부에는 전극(a, 음극)을 수용하는 다공성 중공관(b) 만을 설치한 삼각형의 2차원적 전극배열로 이루어진 것이다.

발명의 효과

[0018] 본 발명에 따른 2차원적 전극배열에 의한 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법 및 장치는 종래기술의 1차원적 전극배열보다 사용하는 전극의 개수를 줄여 전극 제작비와 설치비 등의 전극에 소요되는 비용을 절감할 수 있을뿐만 아니라, 불소의 이동속도를 증가시킴으로써 공정효율의 증진과 더불어 전기에너지 소요비용을 절감시키는 효과를 달성한다.

[0019] 또한, 상기 삼각형의 2차원적 전극배열의 순차적인 운전을 통하여 육각형의 2차원적 전극배열과 균등한 정도의 공정효율을 유지하면서 전극비용을 절반으로 절감할 수 있는 향상된 효과를 얻는다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1a 및 1b는 종래기술인 1차원적 전극배열을 이용한 동전기 기술 및 1차원 전극배열에 대한 방식을 대략적으로 나타낸 도면.

도 2a 및 2b는 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열에 의해 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화장치 및 육각형의 2차원 전극배열에 대한 방식을 대략적으로 나타낸 도면.

도 3a 및 3b는 본 발명의 또 다른 2차원적 전극배열인 육각형의 2차원적 전극배열을 기준으로 두 개조의 삼각형을 이루는 삼각형의 2차원적 전극배열 및 삼각형의 2차원적 전극배열의 위치변환에 따라 전원을 공급하는 실시상태를 대략적으로 나타낸 도면.

도 4는 양극부와 음극부의 구조를 대략적으로 나타내는 구조도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 따른 2차원적 전극배열에 의한 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법 및 정화장치에 대하여 보다 구체적으로 설명하기로 한다.

[0022] 도 1a 및 1b는 종래기술인 1차원적 전극배열을 이용한 동전기 기술 및 1차원적 전극배열에 대한 방식을 대략적으로 나타낸 도면으로서, 도 1a 및 1b를 참조하면,

[0023] 종래기술인 1차원적 전극배열에 의한 동전기 기술을 이용한 정화장치는 오염토양지(1) 내의 양 측단에 양극부(2)와 음극부(3)가 일대일로 대응되게 나란히 배치된 1차원적 전극배열로 이루어지며, 양극부(2)에는 양극 전해질용액 주입관(2-2) 및 양극 전해질용액 배출관(2-3)이 펌프(P)에 의해 양극 전해질용액 저장탱크(2-1)와 연결되어 있고, 음극부(3)에는 음극 전해질용액 주입관(3-2) 및 음극 전해질용액 배출관(3-3)이 펌프(P)에 의해 음극 전해질용액 저장탱크(3-1)와 연결되어 있으며, 또한, 양극부(2)와 음극부(3) 각각에 전원을 공급하는 전원공급수단(4)이 연결되어 있다.

[0024] 상기 도 1에 나타난 바와 같은 종래기술의 1차원적 전극배열은 불소와 함께 음이온성 오염물질을 양극부(2)로

이동시켜서 토양으로부터 제거하지만, 종래기술과 같이 여러 개의 양극부로 이루어진 경우에는 토양으로부터 이동되어 제거된 불소를 함유한 폐수를 회수하는데 용이하지 않으며, 또한, 1차원적 전극배열은 양극부(2)와 음극부(3)가 일대일로 대응되게 나란히 설치되어 있기 때문에 선형의 전기장이 형성되어 공정이 진행되면서 토양 공극의 막힘 현상이 초래될 수 있어서 전기 저항의 증가에 따른 전기에너지 비용의 상승 및 공정효율의 저하 등이 초래될 수 있으며, 무엇보다 동일한 양의 불소오염토양을 처리할 경우 본 발명에 따른 2차원적 전극배열에 비하여 전극의 개수가 증가하여 전극의 제작 및 설치비용을 증가시키기 때문에 1차원적 전극배열을 이용하는 경우 공정효율의 개선 및 경제성을 확보하기 어렵다.

[0025] 도 2a 및 2b는 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열에 의해 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화장치 및 육각형의 2차원적 전극배열에 대한 방식을 대략적으로 나타낸 도면으로서, 도 2a 및 2b를 참조하면,

[0026] 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열을 이용한 정화장치는 불소오염토양지(1) 내의 불소오염토양(H)의 중심에 설치된 1개의 양극부(2)를 중심으로 불소오염토양(H) 외곽에 육각형으로 배열되도록 6개의 음극부(3)가 설치되고, 양극부(2)에는 양극 전해질용액 주입관(2-2) 및 양극 전해질용액 배출관(2-3)이 펌프(P)에 의해 양극 전해질용액 저장탱크(2-1)와 연결되어 있고, 음극부(3)에는 음극 전해질용액 주입관(3-2) 및 음극 전해질용액 배출관(3-3)이 펌프(P)에 의해 음극 전해질용액 저장탱크(3-1)와 연결되어 있으며, 또한, 양극부(2)와 음극부(3) 각각에 전원을 인가하는 전원공급수단(4)이 연결되어 있다.

[0027] 상기한 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열에 의해 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화장치는 2차원적 전극배열에 의해 선형적인 전기장이 형성되지 않고, 음극부에서 양극부로 갈수록 전류밀도가 증가하는 비선형적인 전기장이 형성되고, 이러한 비선형적인 전기장은 중심에 위치한 양극부(2)로 이동되는 불소오염물질의 제거속도를 증가시킬 수 있으며, 오염물질의 축적 등에 의한 공극의 막힘 현상을 방지할 수 있어서 오염물질의 제거효율을 증가시킬 수 있다. 뿐만 아니라, 불소와 함께 음이온성 오염물질은 중심에 위치한 양극부(2)쪽으로 이동되어 제거되기 때문에 종래기술에서 여러 개의 양극부로 이루어진 공정보다 토양으로부터 이동되어 제거된 불소를 함유한 폐수를 용이하게 회수할 수 있다.

[0028] 상기 본 발명에 따른 불소오염토양의 정화공정은 그 수행 중에 양극부(2)와 음극부(3)로 각각 전해질용액 공급탱크(2-1)(3-1)로부터 전해질용액이 순환 공급되며, 공정이 진행됨에 따라 각각의 전해질용액 내의 불소의 농도가 과도하게 증가될 수 있으므로 새로운 전해질용액의 교체를 통하여 토양 내 불소 등 오염물질의 제거효율을 향상시키는 것이 바람직하며, 또 정화공정의 진행시간에 따라 불소의 제거 양상 및 속도를 모니터링하기 위하여 양극부 및 음극부 내의 전해질 용액 내의 불소의 농도를 주기적으로 분석해야 하며, 이를 통하여 전해질용액 내에 불소의 농도가 더 이상 증가하지 않게 되면 공정을 종료시키는 것으로 이루어진다.

[0029] 상기 본 발명에 따른 양극부(2) 및 음극부(3)에는 직류전류를 인가하며, 인가하는 전기에너지는 본 발명이 속하는 기술분야에서 잘 알려진 정도의 수준 즉, 0.1 ~ 1mA/㎠ 정도의 전류밀도, 0.01V/㎝ 정도의 전기장 세기가 바람직하다.

[0030] 그리고 상기한 직류전류의 공급에 의해 토양 내에서 대부분 음으로 하전된 불소오염물질은 전기이동 현상에 의하여 양극부로, 전기삼투에 의하여 음극부로 이동하여 토양으로부터 제거되며, 정화공정의 시간이 경과함에 따라 토양 내 불소의 농도는 감소함과 동시에 양극부의 전해질용액과 음극부 전해질용액 내 불소의 농도는 증가하게 된다. 이러한 과정에서 양극부와 음극부에서는 아래 [화학식 1]과 같이 물의 전기분해 반응이 발생하게 되어 양극부에서는 수소이온(H^+)이, 음극부에서는 수산화이온(OH^-)이 생성된다.

[0031] [화학식 1]

[0032] (양극부) $2H_2O - 4e^- \rightarrow 4H^+ + O_2(g)$

(음극부) $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2(g)$

[0033] 토양 내 존재하는 불소의 공극수로의 용출은 수산화이온과의 이온교환에 의한 탈착과 용해 등의 화학적 반응에 의하여 이루어지며, 따라서 이러한 화학반응에 의한 원리를 이용하여 효과적으로 불소를 용출시키기 위해서는 토양 내의 pH를 증가시켜 주는 것이 바람직하다.

[0034] 그러나 상기한 바와 같이 양극부에서 일어나는 물의 전기분해 반응에 의하여 생성된 수소이온은 토양의 pH를 감소시켜 음이온으로 존재하는 불소 오염물질이 토양 내에서 흡착 또는 토양 내 존재하는 칼슘이온과의 침전으로 인하여 이동성이 감소되어 제거를 방해하는 악영향을 초래하므로 양극부 전해질 용액에 적당한 농도의 수산화나트륨(NaOH)을 첨가하여 수소이온을 중화시켜 10 이상의 pH를 유지시켜 주고, 이와 반대로 음극부에서는 수산화이온이 발생되며, 이러한 수산화이온은 토양의 pH를 증가시켜 토양 내 불소의 탈착, 용해, 제거가 용이하도록 하기 때문에 음극부 전해질 용액은 중성 또는 양극부 전해질로 사용된 동일한 NaOH 용액을 이용할 수 있다.

[0035] 그리고 도 1 및 도 2에 도시된 전극의 개수를 비교하여 보면, 도 1의 종래기술인 1차원적 전극배열에 비하여 도 2에 도시된 본 발명에 따른 2차원적 전극배열에서 단위 셀 당 한 개의 전극을 줄일 수 있는 것을 예측할 수 있으며, 보다 구체적인 비교를 위하여 양극과 음극 거리를 1m로 하고, 전극의 길이를 2m로 가정하여 오염토양 1,000톤(m^3)을 처리할 때를 기준으로 산정해 보면, 본 발명에 따른 2차원 전극배열의 경우 192개의 전극을 줄일 수 있다. 또 지금까지 보고된 현장적용 사례로부터 얻어진 일반적인 동전기 공정의 총 소요비용을 구성하는 항목과 각 항목별 비율은 전극의 제작 및 설치비용(40%), 전기에너지 비용(10 ~ 15%), 인건비(17%), 재료비(17%), 영업비 및 고정비(16%) 등으로 보고되고 있으며, 전체 소요비용 중 전극의 제작 및 설치비용이 차지하는 비중이 가장 크다는 것을 감안하면, 본 발명은 전극개수를 줄임으로써 전극의 제작 및 설치에 소요되는 비용절감에 따른 개선된 효과를 지니고 있으며, 또한, 전력소모량 당 제거효율을 향상시킬 수 있어 전기에너지 소요비용도 절감시키는 효과를 나타낸다.

[0036] 도 3a 및 3b는 본 발명에 따른 또 다른 2차원적 전극배열로 육각형 전극배열을 기준으로 두 개의 삼각형의 2차원적 전극배열에 의해 정화공정을 수행할 때 전극위치의 변환을 나타낸 도면으로서, 도 3a 및 3b를 참조하여 본 발명에 따른 삼각형의 2차원 전극배열 및 그 실시형태를 설명하면,

[0037] 도 3a 및 3b에 도시된 바와 같은 본 발명에 따른 삼각형의 2차원적 전극배열은 상기 도 2b에 도시된 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열에서 상기 육각형으로 배열된 6개의 음극부(3) 중에서 3개의 음극부(3)가 양극부(2)를 중심으로 삼각형을 이루도록 2개조로 나누어 배열되며, 1개조의 배열부분은 음극부(3)를 설치하고, 나머지 1개조는 전극(a, 음극)을 설치하지 않고, 전극(a, 음극)을 수용하는 다공성의 중공관(b) 만을 설치하고, 음극부(3)가 설치된 삼각형 배열의 음극부(3)에 일정기간 전기장을 인가해 준 다음, 음극부(3)에 설치된 전극(a, 음극)을 옮겨 다공성의 중공관(b)에 수용시켜 음극부(3)를 형성하여 전극위치를 변환시킨 후 전기장을 인가해 주는 전원공급방식, 즉, 3개의 음극부(3)가 양극부(2)를 중심으로 삼각형을 이루도록 배열된 음극부를 옮겨가면서(도면에 도시된 화살표 방향 참조) 전극위치를 변환시켜 전기장을 인가해 주는 것으로 이루어진다.

[0038] 상기 본 발명에 따른 삼각형의 2차원적 전극배열에 의한 정화장치는 육각형의 2차원적 전극배열에 비하여 공정에 필요한 전극의 개수를 1/2 정도로 구성하면서도 육각형의 2차원적 전극배열의 정화장치와 균등한 정도의 제거효율을 얻을 수 있는 특징이 있으며, 이는 궁극적으로 효율상승과 원가절감 등의 개선된 효과를 달성하는 것을 알 수 있다.

[0039] 도 4는 양극부와 음극부의 구조를 개략적으로 나타내는 구조도로서, 도 4를 참조하여 양극부와 음극부를 설명하면,

[0040] 본 발명에 따른 양극부(2) 및 음극부(3)는 다 같이 동일한 구조로 이루어지며, 또 종래기술의 양극부 및 음극부와 동일한 것으로서, 양극부(2) 또는 음극부(3)는 양극 또는 음극을 이루는 전극(a)와 전극(a)를 수용하는 중공관(b)로 구성되며, 중공관(b)의 벽은 전해질이 유통할 수 있는 통로가 형성되어 있으며, 도 4에서는 전해질이 유통할 수 있는 통로를 중공관(b)의 벽에 길이방향으로 일정간격을 두고 나란히 여러 개의 통로를 형성한 것을 도시하고 있으나, 이에 한정되지 않고 중공관(b)의 벽에 다수개의 구멍이 형성된 다공성의 통로가 형성된 중공관(b)도 바람직하고, 전극(a)의 형상도 봉형상 또는 막대형상 등 특별히 한정되는 것을 아니다.

[0041] 그리고 상기 중공관(b)에는 전해질용액 배출구와 주입구가 설치되어 있으며, 중공관(b) 내부로 전해질용액 배출구와 주입구를 통하여 전해질용액 저장탱크로부터 전해질 용액이 순환되는 것으로 이루어진다.

[0042] 이하에서는 실험실 규모로 시험한 시험예를 통하여 본 발명의 2차원적 전극배열에 의해 향상된 동전기 기술을 이용한 불소오염토양의 정화방법에 대한 시험예의 결과 및 효과를 구체적으로 나타내었다.

[0043] <시험예 1>

[0044] 1차원적 전극배열과 본 발명에 따른 2차원적 전극배열과의 비교시험을 위하여 도 1a에 도시된 종래기술인 1차원적 전극배열의 정화장치와 도 2a에 도시된 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열의 정화장치를 이용하여

실험을 수행하였다.

[0045] 사용된 전극의 개수는 도 1a에 도시된 1차원적 전극배열의 정화장치에서는 8개, 도 2a에 도시된 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열의 정화장치에서는 7개를 설치하고, 9V의 정전압으로 직류전기를 토양에 인가해 주었으며, 이에 해당되는 전기장의 세기는 1V/cm였다.

[0046] 총 공정 기간 20일 중에 2, 6, 12, 20일째에 토양으로부터 토양시료를 채취하였으며, 각 시료채취일 당 시료의 수는 상기 1차원적 전극배열인 경우 28개로 총 112개, 본 발명에 따른 2차원적 전극배열인 경우 60개로 총 240개였다.

[0047] 채취된 토양시료는 우리나라 토양오염공정시험방법 중 불소 공정시험법을 이용하여, 잔류하고 있는 토양 내 불소의 농도를 분석한 후, 공정 전 토양 내 초기 불소 농도를 이용하여 각 채취일별 전기에너지 소모량 당 불소 제거량을 계산하고, 그 결과를 아래 [표 1]에 나타내었다.

표 1

표 1. 전극배열방식에 따른 전력소모량 당 제거량

[0048]

공정시간 (day)	전력소모량 당 제거량 (g/kWh)	
	1차원 전극배열	육각형 2차원 전극배열
2	49.17	95.68
6	71.57	118.08
12	82.17	127.77
20	83.98	134.59

[0049] 상기 [표 1]에 나타난 바와 같이, 동일한 공정기간 중 1차원적 전극배열에 비하여 육각형의 2차원적 전극배열을 이용한 시험결과에서 전력소모량 당 불소의 제거량이 월등히 높은 것으로 나타나므로 2차원적 전극배열이 1차원적 전극배열보다 더 효율적임을 알 수 있다. 즉, 동일한 운전기간을 고려할 때 2차원적 전극배열의 경우 1차원적 전극배열보다 적은 전기에너지를 이용하여 더 많은 오염물질을 제거할 수 있어 전기에너지 비용을 절감할 수 있다.

[0050] 특히, 육각형 형태의 2차원적 전극배열인 경우 1차원적 전극배열보다 공정초기에 공정의 효율이 월등히 높았으며, 이는 앞서 설명한 바와 같이 2차원적 전극배열의 경우 전기장이 비선형적으로 분포하여 중심부에 위치한 양극부로 접근할수록 전류밀도가 증가하게 되고, 이러한 효과로 인하여 불소의 제거속도가 빨라지기 때문인 것으로 생각된다.

[0051] 즉, 공정초기 토양 내 불소의 농도가 높은 경우에 2차원적 전극배열의 비선형적인 전기장 분포에 의하여 토양으로부터 불소가 빠르게 제거됨을 알 수 있다.

[0052] 따라서 본 시험예의 결과로부터 육각형의 2차원 전극배열을 이용하여 정화할 경우에 전극의 개수를 줄임과 동시에 제거효율도 향상시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

[0053] <시험예 2>

[0054] 본 발명의 또 다른 2차원적 전극배열인 삼각형의 2차원적 전극배열의 정화장치 및 상기 <시험예 1>에 적용된 육각형의 2차원 전극배열의 정화장치에 의해 시험을 수행하였으며, 또한, <시험예 1>과 같은 조건으로 1V/cm의 전기장의 세기에 해당하는 정전압을 공급하였다.

[0055] 상기 본 발명의 또 다른 2차원적 전극배열인 삼각형의 2차원적 전극배열의 정화장치는 도 3에 도시된 바와 같이 음극부로 세 개의 음극전극만을 사용한 두 개의 삼각형 형태로 나누고, 순차적으로 전극배열의 위치를 변환시켜 전원을 인가하면서 실험을 수행하였으며, 두 개의 삼각형 전극배열의 위치변환 시점에 따른 공정의 효율을 평가하기 위하여 총 20일의 공정기간 중 6일과 12일에 전극위치를 변환(도 3b의 화살표 방향 참조)하여 시험을 수행하고, 그 시험결과의 비교를 위하여 상기 <시험예 1>의 육각형의 2차원 전극배열의 정화장치에 의한 시험결과와 함께 아래 [표 2]에 나타내었다.

표 2

표 2. 두 개의 삼각형 전극배열을 연속적으로 이용한 공정의 전력소모량 당 제거량

공정시간 (day)	전력소모량당 제거량 (g/kWh)		
	육각형 배열	두 삼각형 배열의 변환 시점	
		6일째	12일째
2	95.68	74.46	87.92
6	118.08	90.04	99.75
12	127.77	107.68	113.79
20	134.59	112.54	121.14

[0056]

[0057] 상기 [표 2]에 나타난 결과에 의하면, 육각형의 2차원적 전극배열을 이용한 공정의 결과와 삼각형의 2차원적 전극배열을 이용한 공정의 결과에 있어서, 최종 제거량은 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있으나, 두 개의 삼각형 전극배열을 이용한 공정은 육각형의 전극배열을 이용한 공정에 비하여 전극개수의 사용이 1/2인 점을 감안할 때, 공정효율이 개선된 것으로 생각할 수 있으며, 특히, 상기 [표 1]에 나타난 1차원적 전극배열을 이용한 공정(종래기술)에 비해서는 [표 2]에 나타난 바와 같이, 본 발명에 따른 삼각형의 2차원적 전극배열을 이용한 공정이 월등히 높은 제거량을 얻는 것을 알 수 있다.

[0058] 그리고 상기 <시험예 2>에 의한 삼각형의 2차원적 전극배열에서 전극위치의 변환시점을 비교한 시험결과에 의하면, 12일째에 전극의 위치를 변환한 때의 효율이 조금 더 좋은 것을 알 수 있으나, 전체 결과를 비교하면 육각형의 2차원적 전극배열과 균등한 정도로 나타났지만, 큰 규모의 실제 현장에 적용할 경우 삼각형의 2차원적 전극배열을 이용한 공정이 육각형의 2차원적 전극배열을 이용한 공정에 비하여 필요한 음전극의 개수를 1/2로 감소시킬 수 있는 기술적 효과는 전체 공정에서 전극 제작비와 설치비를 크게 절감할 수 있는 장점을 지니고 있다.

[0059] 상기 <시험예 1> 및 <시험예 2>에 나타난 결과로부터 본 발명에 따른 정화방법 및 정화장치에 따른 결과를 종합적으로 판단하면, 동전기 기술의 현장적용 시 1차원적 전극배열, 본 발명에 따른 육각형의 2차원 전극배열 및 삼각형의 2차원적 전극배열의 세 가지 모두에서 토양 내 불소의 농도는 우리나라 토양오염우려 기준인 400mg/kg 이하로 낮출 수 있기 때문에 세 가지 형태의 전극배열을 이용한 공정 모두 다 현장에 적용이 가능하다고는 생각되지만, 전력소모량 당 제거속도를 비교해 볼 때, 1차원적 전극배열보다는 육각형과 삼각형의 2차원적 전극배열에서 월등히 향상되는 것을 확인할 수 있었기 때문에, 상기 두 종류의 2차원적 전극배열이 1차원적 전극배열보다는 효율성이 높다고 생각되며, 공정기간과 전력소모량을 줄일 수 있다는 장점이 있다고 생각되고, 또 육각형의 2차원적 전극배열을 이용한 공정과 삼각형의 2차원적 전극배열을 적용한 공정의 결과가 서로 균등한 정도로 나타나지만, 삼각형의 2차원적 전극배열이 육각형의 2차원적 전극배열에 비하여 전극이 1/2 정도 소요되므로 그에 따라 전극 제작비와 설치비가 크게 절감되는 장점이 있는 것으로 결론을 얻었다.

부호의 설명

[0060]

1 : 불소오염토양지 H : 불소오염토양

2 : 양극부 3 : 음극부

2-1 : 전해질용액 저장탱크 2-2 : 전해질용액 주입관

2-3 : 전해질용액 배출관 3-1 : 전해질용액 저장탱크

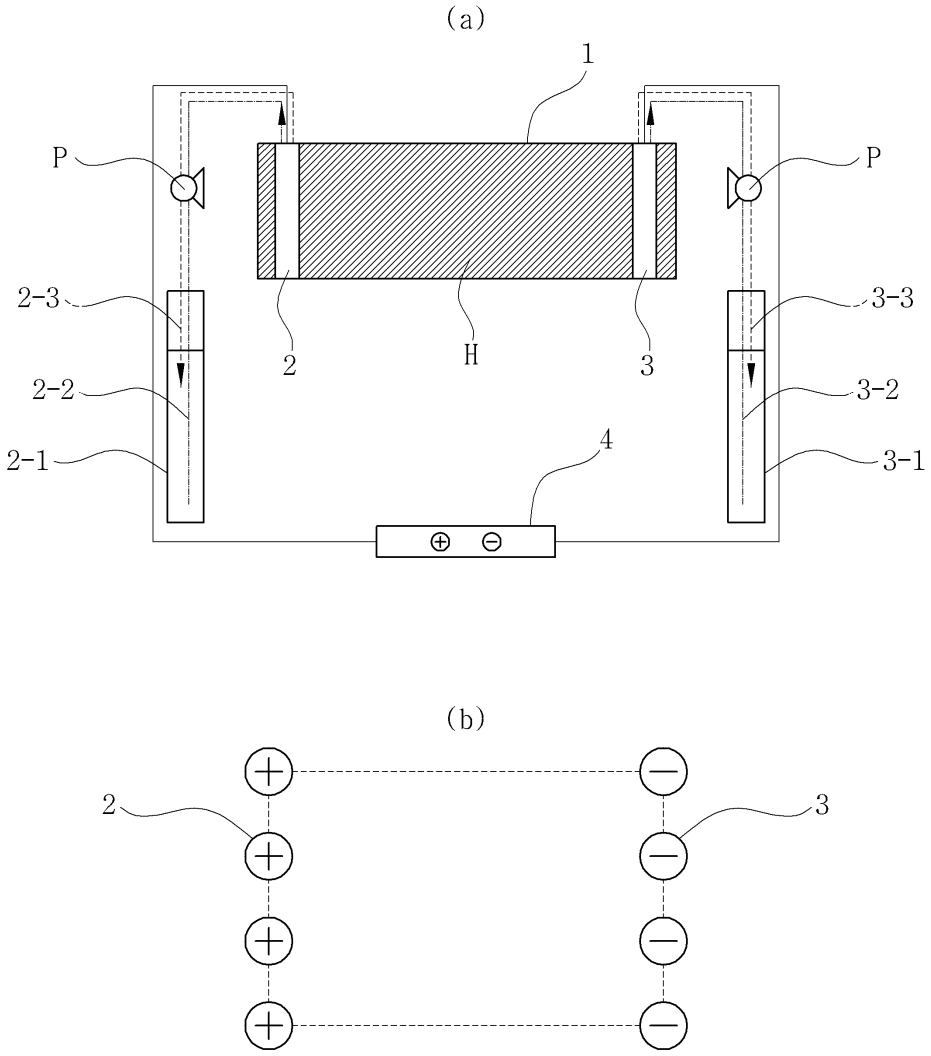
3-2 : 전해질용액 주입관 3-3 : 전해질용액 배출관

4 : 전원공급수단 a : 전극(양극, 음극)

b : 다공성 중공관 P : 펌프

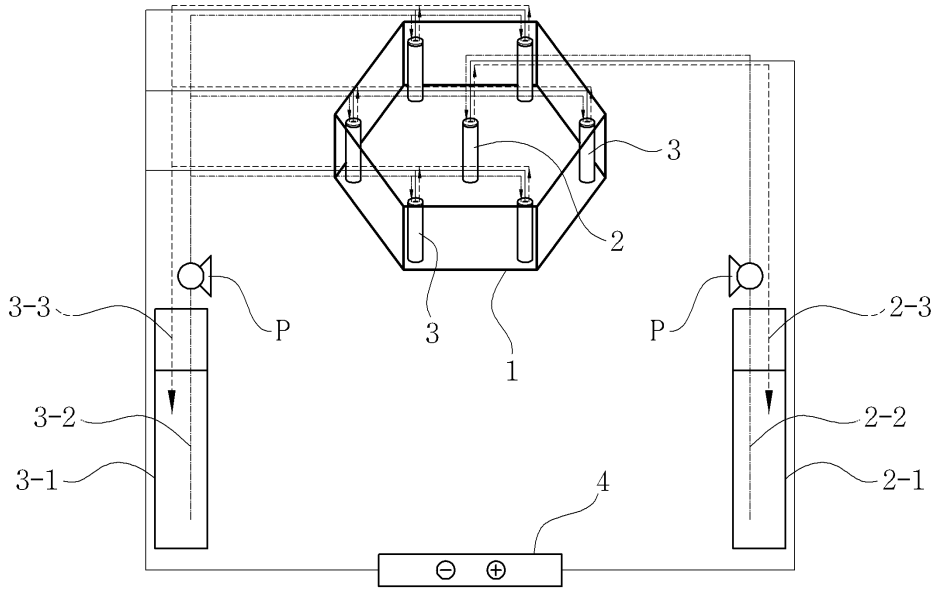
도면

도면1

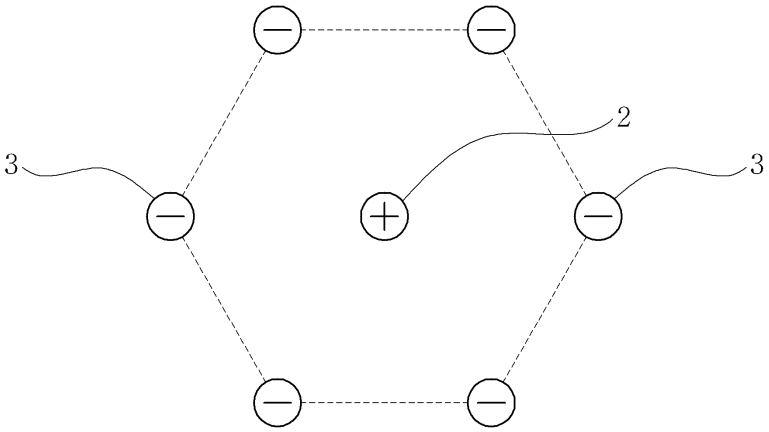


도면2

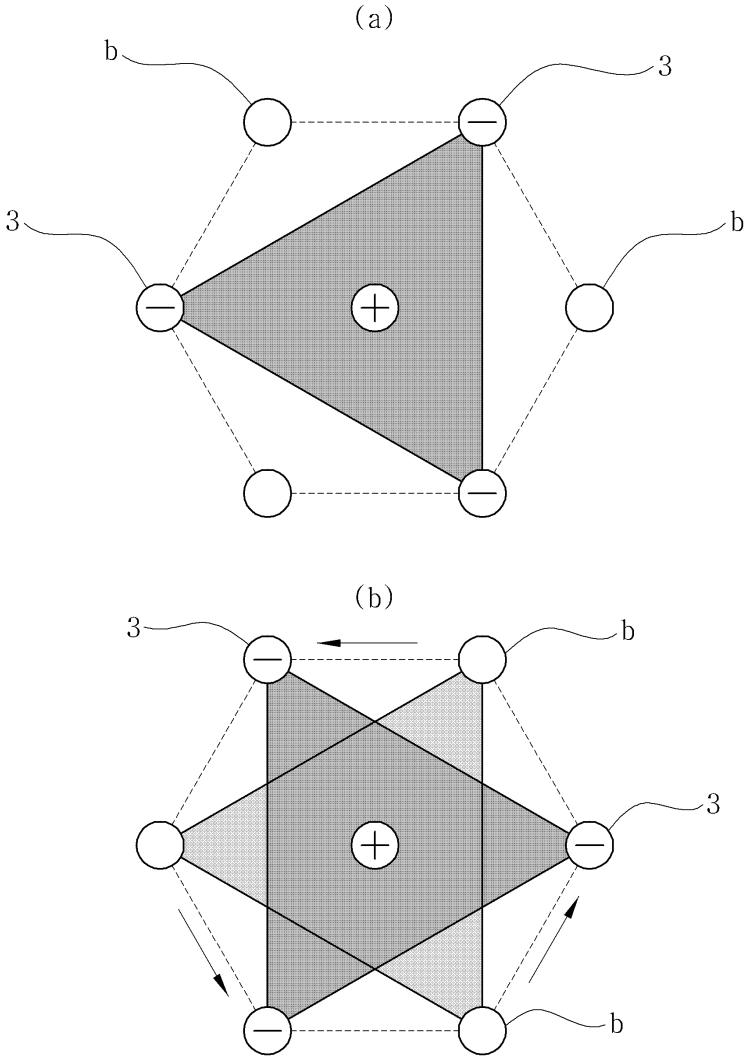
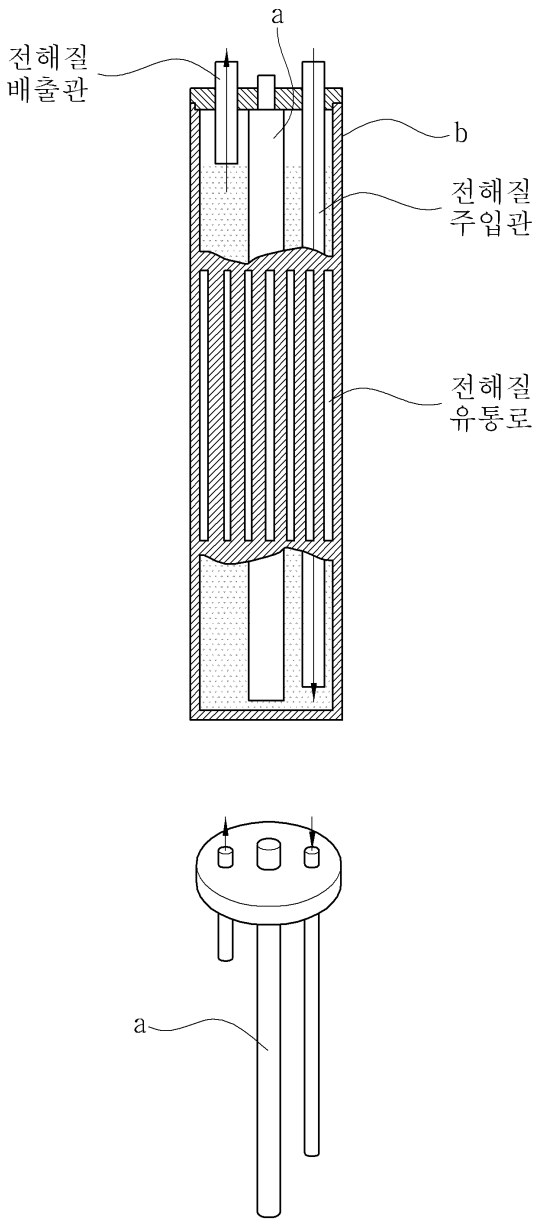
(a)



(b)



도면3



도면4