



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년12월08일
(11) 등록번호 10-1090901
(24) 등록일자 2011년12월01일

(51) Int. Cl.

B09C 1/08 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-0097410

(22) 출원일자 2011년09월27일

심사청구일자 2011년09월27일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020100084993 A*

토양 내 중금속 오염물질의 전기동력학적 제거를 위한 전극배열평가, 경상대학교, 석사학위논문(정진영), pp1-64*

한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, p 327-329, (2010.10.)*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한라건설주식회사

서울특별시 송파구 신천동 7-19

광주과학기술원

광주 북구 오룡동 1번지

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 가좌동 900

(72) 발명자

김순오

인천광역시 계양구 계산동 941 신도브래뉴 아파트 104-701

이우춘

경상남도 사천시 서포면 구평리 565-1번지

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김기정, 민만호, 정훈

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 박수진

(54) 반파 정류와 전파 정류를 연계한 혼합 전원공급방식 및 2차원 전극배열에 의한 전기동력학적 중금속 오염 토양 정화방법 및 정화장치

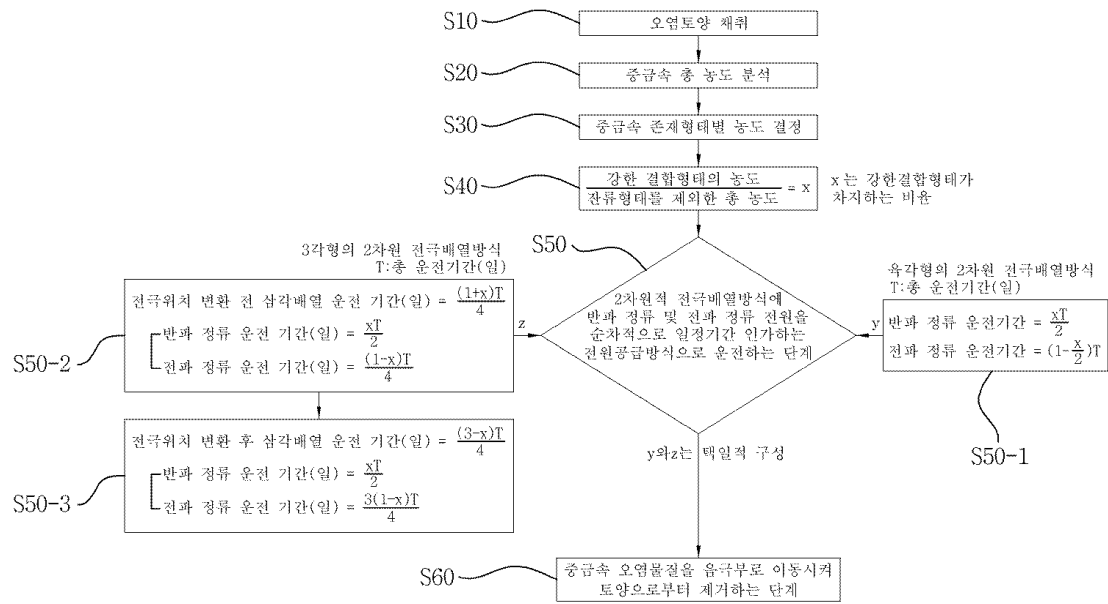
(57) 요약

본 발명은 2차원 전극배열 및 반파 정류와 전파 정류의 순차적인 직류전원의 공급을 통한 전기동력학적 기술을 이용하여 중금속으로 오염된 토양의 정화효율을 증진시키고 동시에 경제성도 확보되는 반파 정류와 전파 정류를 연계한 혼합 전원공급방식 및 2차원 전극배열에 의한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법 및 정화장치에 관한 것이다.

본 발명의 구성으로는 오염토양지(1) 내의 오염토양(H)의 중심에 설치된 음극부(2)와, 음극부를 중심으로 오염토양지의 내측 외곽에 육각형으로 배열된 6개의 양극부(3)에 반파 정류전원과 전파 정류전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식에 의해 중금속 오염토양을 정화하는 것으로 이루어지며, 상기 반파 정류전원과 전파 정류전원을 순차적으로 인가하는 전원공급방식의 운전기간은 오염토양에 함유된 강한 결합형태로 존재하는 중금속이 차지하는 비율에 따라 정하여지는 것으로 이루어진다.

본 발명은 종래의 전파 정류만을 이용한 공정의 단점을 극복하여 중금속 오염물질의 용출과 이동을 동시에 증진시키고, 또한, 종래기술의 1차원 전극배열보다 사용하는 전극의 개수를 줄여 전극 제작비와 설치비 등의 전극에 소요되는 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 오염물질의 이동속도를 증가시킴으로써 공정 효율의 증진과 더불어 전기에너지 소요 비용을 절감시키고, 또한, 상기 삼각형 형태의 2차원 전극배열의 순차적인 운전을 통하여 공정의 효율은 유지하면서 전극비용을 절반으로 절감할 수 있는 향상된 효과를 얻는다.

대표도



(72) 발명자

김동윤

경상남도 진주시 가좌동 1861번지

정진영

경상남도 밀양시 교동 811-3번지

김경웅

경기도 성남시 분당구 서현동 시범단지현대아파트 408-1502

이근영

광주광역시 북구 오룡동 광주과학기술원 기혼자아파트 F-102

김현아

전라남도 목포시 산정동 1345-17번지

김주용

광주광역시 광산구 신창동 신창5차호반베르디움아파트 503-201

이병태

광주광역시 남구 봉선1동 1017-6번지

권영호

서울특별시 강남구 대치2동 쌍용아파트 5-1507

김정래

경기도 남양주시 호평동 615 신명스카이뷰아파트 1406-1204

기민주

경기도 용인시 기흥구 영덕동 976 호반베르디움아파트 503-1003

김정연

서울특별시 송파구 장지동 송파파인타운2단지아파트 208-404

김원경

서울특별시 강동구 상일동 고덕리엔파크아파트 334-702

오희진

경기도 남양주시 호평동 우림필유아파트 104-1504

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

오염토양지(1) 내의 오염토양(H)에 음극부(2)와 양극부(3)를 설치하고, 음극부(2)와 양극부(3) 각각에 전해질용액의 주입 및 배출에 의해 전해질용액을 순환시키면서 음극부(2)와 양극부(3)에 전원을 인가하는 것에 의한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법에 있어서,

상기 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법이 (A)토양의 중금속 오염특성을 분석하기 위하여 정화 대상 오염토양지(1)로부터 토양 시료를 채취하는 단계(S10)와,

(B) 상기 단계(S10)로부터 중금속의 총 농도를 분석하여, 토양환경보전법 상에 지정된 정화 대상 중금속 오염물질 항목(종류)과 오염수준을 파악하는 단계(S20)와,

(C) 상기 단계(S20)의 결과로부터 오염물질의 토양 내 정화 대상 중금속 존재형태별 농도를 분석하는 단계(S30)와,

(D) 상기 단계(S30)의 결과로부터 오염물질의 토양에 함유된 강한 결합형태의 비율(x)을 결정하는 단계(S40)와,

(E) 상기 단계(S40)의 결과로부터 아래 [수학식 1]에 의해 반파 정류와 전파 정류 운전기간을 산정하고, 산정결과에 따라 상기 오염토양지(1) 내에 설치된 2차원적 전극배열에 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 일정기간 전원을 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50-1)를 포함하고,

상기 2차원적 전극배열이 음극부(2)는 오염토양(H)의 중심에 설치되고, 양극부(3)는 음극부(2)를 중심으로 하여 오염토양(H)의 외곽으로 6개의 양극부(3)가 육각형으로 배열되게 설치되는 것으로 이루어지고, 음극부(2) 및 양극부(3)는 다 같이 전극(a)와 전극을 수용하는 다공성의 중공관(b)로 이루어진 육각형의 2차원적 전극배열인 것을 특징으로 하는 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법.

[수학식 1]

$$\text{반파정류운전기간(일)} = \frac{xT}{2}$$

$$\text{전파정류운전기간(일)} = (1 - \frac{x}{2})T$$

[상기 수학식에서 x는 강한 결합형태가 차지하는 비율이고, T는 총 운전기간]

청구항 5

청구항 4에 있어서, 단계(S40)의 결과로부터 아래 [수학식 2]에 의해 반파 정류와 전파 정류 운전기간을 산정하고, 산정결과에 따라 상기 오염토양지(1) 내에 설치된 2차원적 전극배열의 전극위치를 변환하면서 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 일정기간 전원을 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50-2) 및 (S50-3)를

포함하고,

상기 2차원적 전극배열이 음극부(2)는 오염토양(H)의 중심에 설치되고, 양극부(3)는 음극부(2)를 중심으로 하여 오염토양(H) 외곽으로 6개의 양극부(3)가 육각형으로 배열되게 설치하되, 6개의 양극부(3) 중에서 하나 걸러 하나씩 양극부(3)를 설치하여 3개의 양극부(3)가 삼각형이 되게 배열하고, 나머지 3개의 양극부(3)에는 전극(a, 양극)을 수용하는 다공성의 중공관(b) 만을 설치하는 것으로 이루어지는 삼각형의 2차원적 전극배열인 것을 특징으로 하는 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법.

[수학식 2]

$$S50-2\text{단계: 전극위치변환전삼각형전극배열운전기간(일)} = \frac{(1+x)T}{4}$$

$$\text{반파정류운전기간(일)} = \frac{xT}{2}$$

$$\text{전파정류운전기간(일)} = \frac{(1-x)T}{4}$$

$$S50-3\text{단계: 전극위치변환후삼각형전극배열운전기간(일)} = \frac{(3-x)T}{4}$$

$$\text{반파정류운전기간(일)} = \frac{xT}{2}$$

$$\text{전파정류운전기간(일)} = \frac{3(1-x)T}{4}$$

[상기 수학식에서 x는 강한 결합형태가 차지하는 비율이고, T는 총 운전기간]

청구항 6

청구항5에 있어서 단계(S50-2) 및 (S50-3)의 삼각형의 2차원적 전극배열의 전극위치를 변환하면서 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 전원을 인가하는 전원공급방식은 양극부(3)가 미리 설치되어 있는 삼각형의 전극배열에 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 일정기간 인가한 다음, 설치된 양극부(3)에서 전극(a, 양극)을 이탈시켜 나머지 삼각형 전극배열의 다공성의 중공관(b)에 전극(a, 양극)을 수용시켜 전극을 변환시킨 후에 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계로 이루어진 것을 특징으로 하는 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 전기동력학적 기술을 이용하여 중금속으로 오염된 토양을 정화하는 중금속 오염토양 정화방법 및 정화장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 중금속 오염물질은 화학물질 저장시설, 산업단지, 폐기물 매립지, 폐기물 소각장, 휴·폐광산, 군부대 등 다양한 오염원으로부터 비롯되어 토양을 오염시킬 수 있다.

[0003] 국내 토양환경보전법상 지정된 21개 오염물질 항목 중 8개 항목이 비소를 포함한 중금속 오염물질로서 중금속 오염토양의 환경위해성에 대한 관심이 증대되고 있는 실정이며, 이에 따라 효과적으로 중금속 오염토양을 정화할 수 있는 기술의 개발 및 상용화가 절실하게 요구되고 있다.

[0004] 지금까지 중금속 오염토양을 정화하기 위해서 적용되어온 기술은 주로 토양세척(세정)이나 고형화/안정화 기술이다. 토양세척(세정)은 오염토양을 적당한 세척용액을 사용하여 오염물질을 액상으로 추출하는 기술로 중금속 오염토양을 정화하기 위하여 가장 많이 이용되어온 기술이다. 하지만, 점토와 같이 세립질 입자를 다량 포함한 수리전도도가 낮은 불투수성 토양의 경우에는 중금속 제거효율이 현저하게 감소하는 단점이 있다.

[0005] 그리고 고형화/안정화의 경우 오염토양으로부터 유해 중금속을 영구히 제거하는 것이 아니라 중금속 오염물질의 확산을 방지하고 독성을 저감하는 기술로서 복원한 이후에 주변 환경조건의 변화에 의해 중금속이 재용출될 가능성이 상존한다.

[0006] 전기동력학적 기술은 상기 정화기술들의 단점을 극복하기 위해서 개발된 오염토양 정화기술로서 세립질의 불투수성 토양에도 적용가능하고, 또한, 오염토양으로부터 유해 중금속을 영구히 제거할 수 있다. 즉, 전기동력학적 기술은 타 오염토양 정화기술에 비하여 토성의 영향을 적게 받기 때문에 다양한 오염토양에 적용가능하며, 또 전기동력학적 기술은 오염토양에 낮은 수준의 직류전류를 공급해서 토양 내 오염물질의 전하특성에 의하여 양극 또는 음극으로 이동시킴으로써 토양으로부터 오염물질을 제거하는 원리를 이용한다.

[0007] 지금까지 적용되어 온 전기동력학적 공정은 종래기술인 도 1에 도시된 종래기술의 정화장치와 같이 주로 1차원적 전극배열 및 전파 정류를 이용해 오고 있다. 전파 정류는 시간에 따라 일정한 세기의 전기장을 형성하기 때문에 토양 내 오염물질의 용출에 대한 효과보다는 전기적인 이동에 대한 효과가 더 크다. 하지만, 토양 내에는 다양한 결합 형태의 오염물질이 존재하기 때문에 전기장에서 오염물질을 효과적으로 이동시키기 위해서는 먼저 이동성이 큰 형태로의 전환 또는 용출이 필요하며, 이를 위해서는 전기적인 이동효과보다는 전기적인 충격에 의한 용출효과가 더 큰 전원공급방식이 효과적일 뿐만 아니라 종래기술에서 이용되어온 1차원적 전극배열은 선형적인 전기장을 형성하기 때문에 공정이 진행됨에 따라 토양 공극의 막힘 현상이 초래되거나 오염물질의 이동속도가 감소할 수 있다. 이러한 막힘 현상은 토양 내 전기 저항을 증가시킴으로써 결국에는 전기에너지 비용을 상승시키고 오염물질의 이동속도 감소는 전체적인 공정효율을 저하시킬 수 있다.

[0008] 전기동력학적 기술을 이용하여 중금속으로 오염된 토양을 정화하는 방법과 관련한 선행기술로 예를 들면, 국내 등록특허공보 10-0578020호는 음극과 양극에 펄스파형의 전원을 공급하는 펄스파워를 이용한 동전기 오염 토양 정화 시스템을 개시하고 있으며, 국내 등록특허공보 등록번호 10-0912817호에 전기 동력학에 의한 토양 복원 시스템에 있어서, 복수개의 전극모듈 중에서 어느 한 쌍의 전극에서부터 인접한 전극으로 극성을 교대로 변화시켜 전류 또는 전압을 단계적으로 인가하여 오염 이온을 어느 한 방향으로 이동시킬 수 있는 전원수단을 이용하는 기술을 개시하고 있고, 또 국내 등록특허공보 등록번호 10-0928216호에는 전기 동력학에 의한 토양 정화 시스템에 있어서, 재배지 양측면과 중앙에 전극을 배치하여 재배지의 토양을 정화하는 전기 동력학에 의한 토양 정화 시스템을 개시하고 있으나 이러한 선행기술은 상기에서 설명한 종래기술인 1차원적 전극배열에 따른 기술의 범주를 벗어나지 못하고 있다.

[0009] 상기한 선행기술 및 기존에 이용되어 온 전파 정류형태의 전원공급방식과 1차원적 전극배열을 이용한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화공정에 따른 문제점을 해결함으로써 본 발명을 완성하게 되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 전극배열 및 전원공급형태의 최적화를 통한 전기동력학적 중금속 오염 토양의 정화방법 및 정화장치의 제공을 목적으로 하며, 보다 구체적으로는 2차원적 전극배열 및 반과 정류와 전과 정류의 순차적인 직류전원의 공급을 통한 전기동력학적 기술을 이용하여 중금속으로 오염된 토양의 정화효율을 증진시키고 동시에 경제성도 확보되는 반과 정류와 전과 정류를 연계한 혼합 전원공급방식 및 2차원적 전극배열에 의한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법 및 정화장치의 제공을 목적으로 하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 목적달성을 위한 반과 정류와 전과 정류를 연계한 혼합 전원공급방식 및 2차원적 전극배열에 의한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법의 해결수단은 중금속 오염토양지(1)의 오염토양(H)에 음극부(2)와 양극부(3)를 설치하고, 음극부(2)와 양극부(3) 각각에 전해질용액의 주입 및 배출에 의해 전해질용액을 순환시키면서 음극부(2)와 양극부(3)에 전원을 인가하는 것에 의한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법에 있어서, 상기 음극부(2)를 중금속 오염토양(H)의 중심에 설치하고, 상기 양극부(3)를 오염토양지(H)의 외곽에 상기 음극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열된 6개의 상기 양극부(3)를 설치한 2차원적 전극배열에 반과 정류전원과 전과 정류전원을 순차적으로 인가하는 전원공급방식으로 이루어지며, 상기 반과 정류전원과 전과 정류전원을 순차적으로 인가하는 전원공급방식의 운전기간은 오염토양에 함유된 강한 결합형태로 존재하는 중금속이 차지하는 비율에 따라 정하여지는 것으로 이루어진다.
- [0012] 상기 음극부(2) 및 양극부(3)는 다 같이 봉 또는 막대형상으로 이루어진 전극(a)와 전극(a)를 수용하는 중공관(b)로 이루어져 있으며 중공관의 벽에는 전해질용액이 유통할 수 있는 통로가 형성되어 있다. 또 전해질용액은 토양 내 중금속 오염물질을 화학적으로 용출시켜 이동성을 증가시키기 위하여 사용하는 것으로 산성용액을 사용하며, 음극 전해질용액의 경우에는 음극부에서 발생하는 물의 전기분해 반응에 의해 pH가 지속적으로 증가하기 때문에 pH가 2 ~ 3 이상으로 증가하지 않도록 산성용액을 첨가하고, 양극 전해질용액의 경우에는 양극부에서 발생하는 물의 전기분해 반응에 의해 pH가 지속적으로 감소하기 때문에 중성용액 또는 음극전해질로 사용된 동일한 산성용액을 이용하며, 양극부 및 음극부의 전해질 용액 내 중금속 농도가 과도하게 증가하였을 때는 새 전해질 용액으로 교체하는 것이 바람직하다.
- [0013] 상기한 본 발명에 따른 2차원적 전극배열은 중금속 오염토양지(1) 내의 오염토양(H)의 중심에 음극부(2)를 설치하고, 오염토양(H) 외곽에 음극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열된 6개의 양극부(3)를 설치한 2차원적 전극배열(이하에서는 ‘육각형의 2차원적 전극배열’로 정의합니다)이며, 이러한 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열은 비선형적인 전기장의 형성에 의하여 음극으로 갈수록 전류밀도가 증가함에 따라 중금속 오염물질의 제거속도를 증가시킴으로써 공정의 효율을 향상시키고 동시에 전기에너지 소요비용을 절감할 수 있고, 또한, 필요한 전극의 개수를 줄임으로써 도 1에 도시된 종래기술의 1차원적 전극배열에 비하여 전극의 제작 및 설치에 소요되는 비용을 절감할 수 있는 특징이 있다.
- [0014] 본 발명에 따른 2차원적 전극배열에 있어서, 또 다른 2차원적 전극배열로는 상기 음극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열된 6개의 양극부(3) 중에서 하나 걸러 하나씩 3개의 양극부(3)가 음극부(2)를 중심으로 삼각형을 이루도록 배열하고, 나머지 양극부(3)는 전극(a, 양극)을 수용하는 다공성의 중공관(b)만을 설치하는 2차원적 전극배열(이하에서는 ‘삼각형의 2차원적 전극배열’로 정의합니다)로 이루어진다.
- [0015] 그리고 상기 삼각형의 2차원적 전극배열에 반과 정류전원과 전과 정류전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식으로는 양극부(3)가 미리 설치된 삼각형 배열의 양극부(3)에 먼저 반과 정류전원과 전과 정류전원을 순차적으로 일정기간 인가해 준 다음, 미리 설치된 삼각형 배열의 양극부(3)에서 전극(a, 양극)을 이탈시켜 나머지 3개의 다공성의 중공관(b)에 전극(a, 양극)을 수용시켜 양극부의 위치를 변환시킨 후 반과 정류전원과 전과 정류전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식, 즉, 3개의 양극부(3)가 음극부(2)를 중심으로 중첩되는 2개의 삼각형을 이루도록 배열하고, 양극부를 옮겨가면서 위치를 변환시켜 전기장을 인가해 주는 방법에 의해 육각형의 2차원적 전극배열과 같은 정도의 제거효율을 얻음과 동시에 양극부의 전극개수를 반으로 줄임으로써 전극비용을 절감하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 본 발명의 또 다른 목적을 달성하기 위한 반과 정류와 전과 정류를 연계한 혼합 전원공급방식 및 2차원적 전극배열에 의한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화장치의 해결수단은 오염토양지(1)의 오염토양(H)에 설치된 음극부(2) 및 양극부(3)와, 음극부(2)와 양극부(3) 각각에 펌프(P)로 접속된 전해질용액 저장탱크(2-1, 3-1)와, 음극부(2) 및 양극부(3)에 전원을 인가하는 전원공급수단(6)으로 이루어진 전기동력학적 중금속 오염토양 정화장

치에 있어서, 상기 음극부(2)는 오염토양(H)의 중심에 설치되고, 오염토양(H) 외곽에 음극부(2)를 중심으로 하여 육각형으로 배열되게 6개의 양극부(3)가 설치된 2차원적 전극배열과, 2차원적 전극배열에 반파 정류 및 전파 정류를 공급하기 위한 반파 정류기(4) 및 전파 정류기(5)를 포함하는 것으로 이루어진다.

[0017] 또한, 본 발명의 또 다른 전기동력학적 중금속 오염토양 정화장치의 해결수단은 오염토양지(1)의 오염토양(H)에 설치된 음극부(2) 및 양극부(3)와, 음극부(2)와 양극부(3) 각각에 펌프(P)로 접속된 전해질용액 저장탱크(2-1, 3-1)와, 음극부(2) 및 양극부(3)에 전원을 인가하는 전원공급수단(6)으로 이루어진 전기동력학적 중금속 오염토양 정화장치에 있어서, 상기 음극부(2)가 오염토양(H)의 중심에 설치되고, 오염토양(H) 외곽에 음극부(2)를 중심으로 육각형의 배열로 6개의 양극부(3)가 설치되되, 6개의 양극부(3)를 하나 걸러 하나씩 3개의 양극부(3)가 삼각형의 배열이 되도록 설치되고, 나머지 3개의 양극부에는 전극(a, 양극)을 수용하는 다공성 중공관(b) 만을 설치하는 것으로 이루어진 2차원적 전극배열과, 2차원적 전극배열에 반파 정류 및 전파 정류를 공급하기 위한 반파 정류기(4) 및 전파 정류기(5)를 포함하는 것으로 이루어진다.

[0018] 즉, 상기 본 발명의 또 다른 전기동력학적 중금속 오염토양 정화장치는 육각형의 2차원적 전극배열과는 달리, 음극부(2)를 중심으로 육각형의 배열로 6개의 양극부(3)를 설치하되, 6개의 양극부(3)를 하나 걸러 하나씩 3개의 양극부(3)가 삼각형의 배열이 되도록 설치하고, 나머지 3개의 양극부에는 전극(a, 양극)을 수용하는 다공성 중공관(b) 만을 설치한 삼각형의 2차원적 전극배열로 이루어진 것이다.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 따른 2차원적 전극배열에 의한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법 및 정화장치는 2차원적 전극배열과 반파 정류와 전파 정류의 전원을 순차적으로 공급해 줌으로써 종래의 전파 정류만을 이용한 공정의 단점을 극복하여 중금속 오염물질의 용출과 이동을 동시에 증진시키고, 또한, 종래기술의 1차원적 전극배열보다 사용하는 전극의 개수를 줄여 전극 제작비와 설치비 등의 전극에 소요되는 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 오염물질의 이동속도를 증가시킴으로써 공정 효율의 증진과 더불어 전기에너지 소요 비용을 절감시키고, 또한, 상기 삼각형의 2차원적 전극배열의 순차적인 운전을 통하여 공정의 효율은 유지하면서 전극비용을 절반으로 절감할 수 있는 향상된 효과를 얻는다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1a 및 1b는 종래기술인 1차원적 전극배열을 이용한 전기동력학적 처리장치 및 1차원적 전극배열에 대한 방식을 대략적으로 나타낸 도면.

도 2a 및 2b는 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열을 이용한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화장치 및 육각형의 2차원적 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 음극부와 양극부의 구조를 개략적으로 나타내는 구조도.

도 5a 및 5b는 전파 정류기를 통하여 얻어지는 전파 정류의 파형에 대한 모식도와 실제 본 발명에서 오실로스코프를 이용하여 측정한 실제 전파 정류의 파형을 나타낸 도면.

도 6a 및 6b는 반파 정류기를 통하여 얻어지는 반파 정류의 파형에 대한 모식도와 실제 본 발명에서 오실로스코프를 이용하여 측정한 실제 반파 정류의 파형을 나타낸 도면.

도 7은 본 발명의 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법에 따른 공정도를 나타낸 도면.

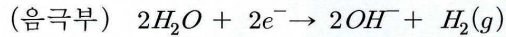
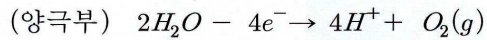
발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 따른 반파 정류와 전파 정류를 연계한 혼합 전원공급방식 및 2차원 전극배열에 의한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법 및 정화장치에 대하여 보다 구체적으로 설명하기로 한다.

[0022] 도 1a 및 1b는 종래기술인 1차원적 전극배열을 이용한 전기동력학적 처리장치 및 1차원적 전극배열을 대략적으로 나타낸 도면으로서, 도 1a 및 1b를 참조하면,

- [0023] 종래기술인 1차원적 전극배열을 이용한 전기동력학적 처리장치는 오염토양지(1) 내의 양 측단에 음극부(2)와 양극부(3)가 일대일로 대응되게 나란히 배치된 1차원적 전극배열로 이루어지며, 음극부(2)에는 음극 전해질용액 주입관(2-2) 및 음극 전해질용액 배출관(2-3)이 펌프(P)에 의해 음극 전해질용액 저장탱크(2-1)와 연결되어 있고, 양극부(3)에는 양극 전해질용액 주입관(3-2) 및 양극 전해질용액 배출관(3-3)이 펌프(P)에 의해 양극 전해질용액 저장탱크(3-1)와 연결되어 있으며, 또한, 음극부(2)와 양극부(3) 각각에 전과 정류를 공급하는 전과 정류기(5) 및 전원공급수단(6)이 연결되어 있다.
- [0024] 상기한 도 1에 나타난 바와 같은 종래기술의 1차원적 전극배열은 중금속 오염물질을 음극부로 이동시켜서 토양으로부터 제거하지만, 1차원적 전극배열은 음극부(2)와 양극부(3)가 일대일로 대응되게 나란히 설치되어 있기 때문에 선형의 전기장이 형성되어 공정이 진행되면서 중금속 오염물질이 음극부(2) 쪽으로 농축되면서 침전 등으로 인하여 토양 공극의 막힘 현상이 초래될 수 있으므로 이러한 현상으로 토양 내 전기 저항이 증가할 수 있고, 결국에는 전기에너지 비용의 상승 및 공정효율의 저하 등을 발생시킬 뿐 아니라 동일한 양의 오염토양을 처리할 경우 본 발명에 따른 2차원적 전극배열에 비하여 전극의 개수가 증가하여 전극의 제작 및 설치비용을 증가시키므로 1차원적 전극배열을 이용할 경우 공정효율의 개선 및 경제성을 확보하기 어려우며, 또 공정 기간 중 또는 공정이 종료된 후 중금속 오염물질을 다량 함유한 폐수를 음극부로부터 회수하여 처리할 때 여러 개의 음극부로부터 폐수를 회수하여야 하기 때문에 이에 따른 폐수 회수 공정이 복잡해지고 이에 따른 추가 비용이 발생된다.
- [0025] 도 2a 및 2b는 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열을 이용한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화장치 및 육각형의 2차원적 전극배열에 대한 방식을 대략적으로 나타낸 도면으로서, 도 2a 및 2b를 참조하면,
- [0026] 본 발명에 따른 육각형의 2차원 전극배열을 이용한 전기동력학적 처리장치는 오염토양지(1) 내의 오염토양(H)의 중심에 설치된 1개의 음극부(2)를 중심으로 오염토양(H) 외곽에 육각형으로 배열되도록 6개의 양극부(3)가 설치되고, 음극부(2)에는 음극 전해질용액 주입관(2-2) 및 음극 전해질용액 배출관(2-3)이 펌프(P)에 의해 음극 전해질용액 저장탱크(2-1)와 연결되어 있고, 양극부(3)에는 양극 전해질용액 주입관(3-2) 및 양극 전해질용액 배출관(3-3)이 펌프(P)에 의해 양극 전해질용액 저장탱크(3-1)와 연결되어 있으며, 또한, 음극부(2)와 양극부(3) 각각에 반과 정류를 공급하는 반과 정류기(4)와 전과 정류를 공급하는 전과 정류기(5)가 전원공급수단(6)과 함께 연결되어 있다.
- [0027] 상기한 본 발명에 따른 육각형의 2차원 전극배열을 이용한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화장치는 오염토양에 함유된 강한 결합형태로 존재하는 중금속이 차지하는 비율을 측정하여 강한 결합형태로 존재하는 중금속이 차지하는 비율에 따라 반과 정류전원과 전과 정류전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식에 의해 중금속 오염토양을 정화하는 것으로 이루어지며, 오염토양의 정화공정의 수행 중에 음극부(2)와 양극부(3)로 각각 전해질용액 공급탱크(2-1)(3-1)로부터 전해질용액이 순환 공급되며, 각각 전해질용액 공급탱크(2-1)(3-1) 내의 중금속 오염물질의 농도가 과도하게 증가되는 경우에는 새로운 전해질용액의 교체를 통하여 토양 내 중금속 오염물질의 제거효율을 향상시키는 것이 바람직하며, 또 정화공정의 진행시간에 따라 음극부 내의 음극 전해질 용액 또는 음극 전해질용액 저장탱크 내의 음극 전해질용액 중의 중금속 오염물질의 농도를 주기적으로 분석해야 하고, 이를 통하여 음극 전해질용액 내 중금속 오염물질의 농도가 더 이상 증가하지 않게 되면 공정을 종료시키는 것으로 이루어진다.
- [0028] 상기 본 발명에 따른 음극부(2) 및 양극부(3)에 인가하는 전기에너지는 본 발명이 속하는 기술분야에서 잘 알려진 정도의 것으로 즉, $0.1 \sim 1\text{mA}/\text{cm}^2$ 정도의 전류밀도, $0.01\text{V}/\text{cm}$ 정도의 전기장 세기가 바람직하다.
- [0029] 그리고 상기한 전원 공급에 의해 토양 내에서 대부분 양으로 하전된 중금속 오염물질은 전기이동과 전기삼투에 의하여 음극부로 이동하여 토양으로부터 제거되며, 정화공정 시간이 경과함에 따라서 토양 내 중금속 오염물질의 농도는 감소함과 동시에 음극부의 전해질용액 내 중금속 오염물질의 농도는 증가하게 되면서 음극 전해질용액 저장탱크 내의 중금속 오염물질의 농도도 증가된다. 한편, 양극부와 음극부에서는 아래 [화학식 1]과 같이 물의 전기분해 반응이 발생하게 되어 양극부에서는 수소이온(H^+)이, 음극부에서는 수산화이온(OH^-)이 생성된다.

[0030] [화학식 1]



[0031]

[0032]

[0033] 토양 내 존재하는 중금속 오염물질은 수소이온과의 이온교환에 의한 탈착과 용해 등의 화학적 반응에 의하여 공극수로 용출되며, 따라서 토양 내에서 중금속 오염물질을 이러한 화학반응에 의한 원리를 이용하여 효과적으로 용출시키기 위해서는 토양 내의 pH를 낮추는 것이 바람직하다.

[0034] 그러나 상기한 바와 같이 음극부에서 일어나는 물의 전기분해 반응에 의하여 생성된 수산화이온은 토양의 pH를 증가시켜 중금속 오염물질을 토양 내에서 흡착시키거나 침전시킴으로써 용출에 악영향을 초래하게 되므로 음극 전해질용액 저장탱크에 적당한 농도의 질산(HNO₃)을 첨가하여 수산화이온을 중화시켜 pH가 3 이상 증가하지 않도록 유지시켜 주고, 이와는 반대로 양극부에서는 상기한 물의 전기분해 반응에 의하여 수소이온이 발생되고, 수소이온은 토양의 pH를 감소시켜 토양 내 중금속 오염물질의 탈착과 용해 등의 화학적 반응을 활성화시키므로 양극 전해질용액 저장탱크에는 중성 용액 또는 음극 전해질용액 저장탱크에 사용한 동일한 질산 용액을 이용할 수 있다.

[0035] 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,

[0036] 도 3a 및 3b에 도시하고 있는 바와 같이 본 발명에 따른 삼각형의 2차원 전극배열은 상기 도 2b에 도시된 본 발명에 따른 육각형의 2차원적 전극배열에서 상기 육각형으로 배열된 6개의 양극부(3) 중에서 3개의 양극부(3)가 음극부(2)를 중심으로 삼각형을 이루도록 2개조로 나누어 배열되며, 1개조의 배열부분은 양극부(3)를 설치하고, 나머지 1개조는 전극(a, 양극)을 설치하지 않고, 전극(a, 양극)을 수용하는 다공성의 중공관(b)만을 설치하고, 양극부(3)가 설치된 삼각형 배열의 양극부(3)에 일정기간 전기장을 인가해 준 다음, 양극부(3)에 설치된 전극(a, 양극)을 옮겨 다공성의 중공관(b)에 수용시켜 양극부(3)를 형성하여 전극위치를 변환시킨 후 전기장을 인가해 주는 방법, 즉, 3개의 양극부(3)가 음극부(2)를 중심으로 삼각형을 이루도록 배열된 양극부를 옮겨가면서(도면에 도시된 화살표 방향 참조) 전극위치를 변환시켜 전기장을 인가해 주는 방법에 의해 육각형의 2차원 전극배열과 같은 정도의 제거효율을 얻음과 동시에 양극부의 전극개수를 반으로 줄임으로써 전극비용을 절감하는 것으로 이루어진다.

[0037] 도 4는 음극부와 양극부의 구조를 개략적으로 나타내는 구조도로서, 도 4를 참조하여 음극부와 양극부를 설명하면,

[0038] 본 발명에 따른 음극부(2) 및 양극부(3)는 다 같이 동일한 구조로 이루어지며, 또 종래기술의 음극부와 양극부와 동일한 것으로서, 음극부(2) 또는 양극부(3)는 양극 또는 음극을 이루는 전극(a)과 전극(a)을 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.

[0039] 그리고 상기 중공관(b)에는 전해질용액 배출구와 주입구가 설치되어 있으며, 중공관(b) 내부로 전해질용액 배출구와 주입구를 통하여 전해질용액 저장탱크로부터 전해질 용액이 순환되는 것으로 이루어진다.

[0040] 도 5a 및 5b는 전파 정류에 대한 모식도와 오실로스코프를 이용하여 측정한 실제 전파 정류의 파형을 나타낸 도면이며, 도 6a 및 6b는 반파 정류에 대한 모식도와 오실로스코프를 이용하여 측정한 실제 반파 정류의 파형을 나타낸 도면으로서,

[0041] 도 5에 나타난 전파 정류 의해서는 토양 내 공극수로 용출된 중금속 오염물질의 이동에는 효과적일 수 있으나, 공극수로의 용출에는 효과적이지 못하다.

[0042] 종래기술인 전기동력학적 공정으로 토양으로부터 중금속 오염물질을 정화공정에서는 도 5에 나타난 전파 정류기를 통하여 얻을 수 있는 전파 정류를 이용하기 때문에 주로 토양 내 공극수로 용출된 중금속 오염물질의 이동효

과에 의한 정화공정으로 이루어져 있으므로 공극수로의 용출에는 효과적이지 못하며, 특히, 강한 결합형태로 존재하는 중금속 오염물질을 다량 함유한 토양인 경우 전과 정류를 이용해서는 중금속 오염물질의 용출을 기대하기가 힘든 문제점이 있다.

[0043] 상기 종래기술의 문제점을 해결하기 위하여 본 발명에서는 도 5에 나타난 전과정류와 도 6에 나타난 전기적인 충격과 형태의 반과 정류를 연계시키는 전원공급방식을 채용함으로써 전과 정류를 이용한 중금속 오염물질을 이동시키는 효과와 토양 내 중금속 오염물질을 공극수로 용출하는데 효과적인 전기적인 충격과 형태의 반과 정류를 연계시키는 것으로 이루어진 것이 특징이다.

[0044] 상기 본 발명에 따른 반과 정류와 전과 정류를 연계한 혼합 전원공급방식은 전과 정류를 이용한 토양 내 공극수로 용출된 중금속 오염물질의 이동효과 및 전기적인 충격과 형태의 반과 정류에 의한 중금속 오염물질을 공극수로 용출시키는 효과를 조합시켜 토양 내의 중금속 오염물질을 효과적으로 정화하는 것으로 이루어지며, 특히, 강한 결합형태로 존재하는 중금속 오염물질을 다량 함유한 토양에서도 반과 정류 및 전과 정류를 연계한 전원공급에 의해 효과적으로 중금속 오염물질을 정화할 수가 있다.

[0045] 도 7은 본 발명에 따른 반과 정류와 전과 정류를 연계한 혼합 전원공급방식 및 2차원적 전극배열을 이용한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법에 대한 공정도를 나타낸 도면으로서, 도 7을 참조하여 본 발명에 따른 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법을 설명하면,

[0046] 본 발명에 따른 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법은 토양 내 중금속 오염물질의 총 농도 및 존재형태 등과 같은 오염특성을 분석하고, 분석된 토양의 오염특성에 따라 육각형의 2차원적 전극배열에 적용할 반과 정류와 전과 정류의 전원공급기간을 산정하여 반과 정류와 전과 정류의 전원을 순차적으로 공급하거나 또는 삼각형의 2차원 전극배열에 적용할 전극위치 변환 최적시점 및 반과 정류와 전과 정류의 전원공급기간을 산정하여 전극위치를 변환하면서 반과 정류와 전과 정류의 전원을 순차적으로 공급하는 것에 의해 전기동력학적 중금속 오염토양 정화 공정의 효율성과 경제성을 증진시키는 것으로 이루어진다.

[0047] 상기 본 발명에 따른 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법을 보다 구체적으로 설명하면,

[0048] 토양의 중금속 오염특성을 분석하기 위하여 정화 대상 오염토양지로부터 토양 시료를 채취하는 단계(S10)와, 채취된 토양 시료를 토양오염공정시험방법에 따라 왕수분해법을 이용하여 중금속의 총 농도를 분석하여, 토양환경보전법 상에 지정된 정화 대상 중금속 오염물질 항목(종류)과 오염수준을 파악하는 단계(S20)와, 파악된 중금속 오염물질 항목(종류)과 오염수준의 결과로부터 오염물질의 토양 내 정화 대상 중금속 존재형태별 농도를 분석하는 단계(S30)와, 분석된 정화 대상 중금속 존재형태별 농도로부터 오염물질의 토양에 함유된 강한 결합형태의 비율을 결정하는 단계(S40)와 강한결합형태의 비율로부터 반과 정류 및 전과 정류의 전원공급기간을 산정하고, 산정결과에 따라 2차원적 전극배열에 반과 정류 및 전과 정류 전원을 순차적으로 일정기간 전원을 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50)로 이루어진다.

[0049] 그리고 상기 2차원적 전극배열에 반과 정류 및 전과 정류 전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50)는 육각형의 2차원적 전극배열의 위치를 변환시키지 않으면서 반과 정류전원과 전과 정류 전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50-1) 또는 삼각형의 2차원적 전극배열의 위치를 변환시키면서 반과 정류 및 전과 정류 전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50-2, S50-3)로 하여 택일적으로 구성된다.

[0050] 상기 오염물질의 토양 내 정화대상 중금속 존재형태별 농도를 분석하는 단계(S30)에서의 농도분석은 본 발명이 속하는 기술분야에서 널리 일반적으로 사용되고 있는 연속추출법(sequential extraction)을 이용하여 분석하며, 연속추출법(sequential extraction)을 실시하여 결정할 수 있는 중금속 존재형태는 크게 5가지로 구분되어지며, ① 용해성 또는 이온결합 형태, ② 탄산염 형태, ③ 철/망간 산화물 형태, ④ 유기물/황화물 형태 및 ⑤ 잔류형태로 구분된다.

[0051] 상기 오염물질의 토양에 함유된 강한 결합형태의 비율을 결정하는 단계(S40)에서의 강한 결합형태란 상기 ③ 철/망간 산화물 형태와 ④ 유기물/황화물 형태를 의미하며, ⑤ 잔류형태는 토양입자 결정 내에 존재하는 중금속으로 매우 강한 결합력으로 존재하여 일반적인 환경에서는 용출이 불가능하여 환경위해성이 크지 않으므로 정화시 제거하지 않아도 되는 존재형태이기 때문에 강한 결합형태에서 제외된다.

[0052] 그리고 강한 결합형태의 비율을 결정하는 단계(S40)에서는 오염물질의 토양 내 중금속 존재형태별 농도를 분석하는 단계(S30)에서 결정된 각 존재형태별 농도를 이용하여 강한 결합형태가 차지하는 비율을 결정하며, 강한 결합형태가 차지하는 비율은 강한 결합형태(상기 ③ 철/망간 산화물 형태와 ④ 유기물/황화물 형태)의 농도를

⑤ 잔류형태를 제외한 4가지 존재형태의 농도를 모두 합한 값으로 나누어서 결정된다.

[0053] 상기 2차원적 전극배열에 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50)에 있어서 육각형의 2차원적 전극배열의 위치를 변환시키지 않으면서 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50-1)는 전극배열을 공정초기에 설치한 전극위치를 변경하지 아니하고 오염토양구역을 하나의 구역으로 유지하면서 공정 완료시까지 반파 정류 및 전파 정류 전원으로 순차적으로 일정기간 운전하는 것으로 이루어진다.

[0054] 상기 단계(S50-1)에 있어서 반파 정류의 운전기간과 전파 정류의 운전기간은 상기 단계(S40)에서 결정된 강한 결합형태가 차지하는 비율과 총 운전기간을 이용하여 전원형태별 운전기간을 결정하며, 이는 총 운전기간에서 반파 정류와 전파 정류로 운전하는 기간을 동일한 기간으로 운전할 경우 강한 결합형태는 결합력이 커서 토양 내 공극수로 화학적 용출이 잘 일어나지 않기 때문에 전기적인 충격과 형태의 반파 정류를 통하여 용출성을 증진시킬 수 있는 원리에 기초한 것으로서, 아래 [수학식 1]에서 나타낸 바와 같이 강한 결합형태가 차지하는 비율에 총 운전기간의 반을 곱하여 반파 정류를 공급해서 운전하는 기간을 산정하며, 전파 정류는 용출효과보다는 용출된 중금속을 이동시키는 데 더 효과적이기 때문에 반파 정류를 공급하여 운전한 이후의 나머지 운전기간은 전파 정류를 공급한다.

[0055]

[0056] [수학식 1]

$$\text{반파 정류 운전기간(일)} = \frac{xT}{2}$$

$$\text{전파 정류 운전기간(일)} = (1 - \frac{x}{2})T$$

[0057]

[0058] [상기 수학식에서 x 는 강한 결합형태가 차지하는 비율이고, T 는 총 운전기간이다.]

[0059] 그리고 2차원적 전극배열에 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50)에 있어서, 삼각형의 2차원적 전극배열의 위치를 변환시키면서 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 일정기간 인가하는 전원공급방식으로 운전하는 단계(S50-2, S50-3)는 오염토양구역을 여러 단위구역으로 나누어 공정 중간에 전극의 위치를 변경하면서 오염토양을 여러 단위구역으로 나누어 반파 정류 및 전파 정류 전원을 순차적으로 일정기간 공급하는 것으로 이루어진다.

[0060] 상기 단계(S50-2, S50-3)에서 전극배열의 위치변환 전과 후 각각에 따른 반파 정류의 운전기간과 전파 정류의 운전기간 역시, 상기 단계(S40)에서 결정된 강한 결합형태가 차지하는 비율과 총 운전기간으로부터 계산되어진 전원형태별 운전기간으로부터 계산되며, 이는 상기 단계(S50-1)에서 운전기간을 설정하는 동일한 원리에서 계산되며, 즉, 단계(S50-1)에서와 같이 반파 정류 운전기간은 강한 결합형태가 차지하는 비율에 총 운전기간의 반을 곱하여 산정하고, 전파 정류 운전기간은 초기 삼각형 배열과 후기 삼각형 배열에 대하여 1 : 3의 비율로 나누어 설정하여 산정하며, 각 삼각형 배열의 총 운전기간은 각 전원형태별 운전기간을 합산하여 산정되며, 이래 [수학식 2]로 나타낼 수 있다.

[0061] [수학식 2]

$$\text{S50-2단계; 전극위치 변환 전 삼각형 전극배열 운전기간(일)} = \frac{(1+x)T}{4}$$

$$\text{반파 정류 운전기간(일)} = \frac{xT}{2}$$

$$\text{정파 정류 운전기간(일)} = \frac{(1-x)T}{4}$$

$$\text{S50-3단계; 전극위치 변환 후 삼각형 전극배열 운전기간(일)} = \frac{(3-x)T}{4}$$

$$\text{반파 정류 운전기간(일)} = \frac{xT}{2}$$

$$\text{전파 정류 운전기간(일)} = \frac{3(1-x)T}{4}$$

[0062]

[0063] [상기 수학식에서 x 는 강한 결합형태가 차지하는 비율이고, T 는 총 운전기간이다.]

[0064] 상기 단계(S60-2, S60-3)에 있어서 전극배열의 위치변환 전과 후 각각에 따른 반파 정류의 운전기간과 전파 정류의 운전기간 산정에 관한 [수학식 2]에 대한 이론적인 뒷받침을 위하여 도 3a 및 3b에 도시된 본 발명의 삼각형의 2차원적 전극배열에서 육각형 전극배열을 기준으로 두 개조의 삼각형의 전극배열 및 삼각형의 전극배열의 위치변환에 따른 실시상태를 나타낸 도면에 의하여 구체적으로 설명하기로 한다.

[0065] 도 3b에 도시된 두 개의 삼각형 배열(31,32)로 이루어진 면적은 외곽의 독립적인 6개의 삼각형들(310,320)과 두 개의 삼각형 배열(31,32)이 중복되어 나타나는 음극 전극(2)을 중심으로 한 내부의 작은 육각형(330)으로 구분할 수 있으며, 중금속 용출을 위하여 적용하는 반파 정류를 이용한 공정은 용출이 필요한 두 삼각형 배열(31,32)의 면적이 동일하기 때문에 각각의 삼각형 배열 내 반파 정류 운전기간은 동일하게 설정할 수 있지만, 상기한 바와 같이 각 삼각형 배열 공정에서 전파 정류 운전기간은 초기 삼각형 배열(31)과 후기 삼각형 배열(32)을 1 : 3의 비율로 산정하였다. 이에 대한 이유는 일단 초기 삼각형 배열(31) 공정에서는 독립된 3개의 삼각형(310)으로부터 중복적으로 나타나는 내부의 작은 육각형(330) 지역으로 이동시키기만 하면 되고, 그리고 후기 삼각형 배열(32) 공정에서 중심부의 음극부(2)까지 이동시켜서 최종적으로 중금속 오염물질을 토양으로부터 제거하게 된다.

[0066] 이때 초기 삼각형 배열(31)의 면적은 외곽의 독립적인 3개의 삼각형(310)에서만 이동되어 지는데 비하여, 후기 삼각형 배열(32)에서는 외곽의 독립적인 3개의 삼각형(320)과 중복되는 내부의 육각형(330)까지의 지역에서도 이동이 이루어져야 한다. 한편, 중복되는 내부의 육각형(330)의 면적은 외곽의 독립된 각 삼각형(310,320) 면적의 6배에 해당된다. 따라서 중금속 오염물질이 이동되어야 할 초기 삼각형 배열(31)과 후기 삼각형 배열(32)의 면적 비율은 1 : 3으로 계산된다. 그러므로 중금속 이동을 위한 전파 정류 공정의 운전기간을 초기 삼각형 배열(31)과 후기 삼각형 배열(32)을 1 : 3으로 설정하였으며, 이러한 이론적 기초에 의해 상기한 [수학식 2]를 도출하였다.

[0067] 이하에서는 실험실 규모로 시험한 시험예를 통하여 본 발명의 반파 정류와 전파 정류를 연계한 혼합 전원공급방식 및 2차원 전극배열에 의한 전기동력학적 중금속 오염토양 정화방법에 대한 시험예의 결과 및 효과를 구체적으로 나타내었다.

[0068] <시험예 1>

[0069] 반파 정류 또는 전파 정류만을 이용한 단일 전원공급방식과 반파 정류와 전파 정류의 전원형태를 연계한 혼합 전원공급방식과의 공정효율 비교를 위하여 도 1에 도시된 1차원 전극배열에 의한 정화장치를 이용하여 시험을 수행하였다.

[0070] 반파 정류 또는 전파 정류만을 이용한 단일 전원공급방식에 따른 시험방식 각 1회(총 2회), 그리고 반파 정류와

전과 정류의 전원형태를 연계한 혼합 전원공급방식에 따른 시험방식 5회로 하여 총 7회의 시험방식에 대하여 비교 시험을 수행하였으며, 본 시험예에 사용된 토양시료는 1936년에 조선제련주식회사로 설립되어 1991년에 조업을 중단할 때까지 국내 비철금속산업의 중심적인 역할을 수행했던 충남 서천군 장항읍 소재 장항 제련소로부터 서쪽 방향으로 300m 이격된 인근 부지로 최근 중금속으로 광범위하게 오염되었다고 밝혀져 현재 정화를 위한 시설계가 진행 중인 부지로부터 채취하였다.

[0071] 본 시험예에서 사용된 토양시료에 대한 분석결과, 구리만이 토양환경보전법 상에서 규정하고 있는 오염수준을 초과한 것으로 나타나서 구리를 대상으로 시험하였다.

[0072] 공급해준 전기장의 세기는 일반적으로 널리 사용되고 있는 0.01~1V/cm의 범위 중 가장 큰 세기인 1V/cm로 하였으며, 본 시험예에 사용된 조건들을 아래 [표 1]에 요약하여 정리하였다.

[0073] 10일간의 총 공정 기간 중 1, 3, 5, 7, 10일째에 도 1에 표시된 바와 같이 위쪽부터 토양을 5부분(㉠ ~ ㉤)으로 나누어 토양 시료를 채취하였으며, 채취된 토양시료는 우리나라 토양오염공정시험방법 중 구리 공정시험법을 이용하여 초기 토양 내에 함유된 구리의 농도를 분석한 후 공정 전 토양 내에 함유된 초기 구리 농도를 이용하여 각 채취일별 제거효율 및 전기에너지 소모량 당 제거량을 계산하여 결과를 아래 [표 2]에 나타내었다.

[0074] [표 2]에 나타난 바와 같이, 반과 정류 또는 전과 정류만을 사용한 단일 전원공급방식에서의 공정효율이 두 전원형태를 혼합한 혼합 전원공급방식에서의 공정효율에 비하여 전체적으로 낮게 나타났으며, 또 두 전원형태를 혼합한 혼합 전원공급방식의 공정들에 대한 공정효율을 비교하였을 때는 반과 3일과 전과 7일로 이루어진 혼합 전원공급방식의 공정에서 가장 높은 제거효율과 전기에너지 소모량 당 제거량을 보였다.

표 1

표 1. 전원공급방식에 따른 공정 비교 실험을 위한 운전조건

실험조건		전파10	전파5/ 반파5	반파1/ 전파9	반파3/ 전파7	반파5/ 전파5	반파7/ 전파3	반파10
양극전해질 용액		0.001M HNO ₃ (26L)						
음극전해질 용액		0.1M HNO ₃ (26L)						
실험기간 (일)	전파	10	5	1	3	5	7	0
	반파	0	5	9	7	5	3	10
시료채취시점(일)		1, 3, 5, 7, 10						
전기장 세기(V/cm)		1						
전극개수	양극	5						
	음극	5						
동일전극간거리(cm)		3						
양극-음극 거리(cm)		15						
토양셀 부피(cm ³)		3768						
초기 수분 함량(%)		34.83						
초기 pH		6.35						
초기 구리 함량 (mg/kg)		262.35						

[0075]

[0076]

표 2

표 2. 전원공급방식에 따른 공정 효율 비교 결과

		전파10	전파5/ 반파5	반파1/ 전파9	반파3/ 전파7	반파5/ 전파5	반파7/ 전파3	반파10
제거효율(%)	1일	18.0	18.7	16.9	16.2	16.7	17.3	16.1
	3일	18.6	18.9	22.7	17.6	18.3	20.3	17.7
	5일	23.0	23.1	27.1	23.1	20.2	28.0	21.1
	7일	24.1	26.1	34.7	33.4	28.2	34.2	34.7
	10일	38.8	49.3	48.6	52.8	46.6	50.3	45.4
전기에너지 소모량 당 제거량 (g/kwh)	1일	17.1	14.5	13.5	13.7	13.1	13.5	12.5
	3일	17.5	14.7	16.7	14.2	13.8	14.7	13.1
	5일	19.0	16.3	18.3	16.3	14.4	17.4	14.3
	7일	19.3	17.0	19.2	19.5	15.9	19.8	17.9
	10일	21.6	20.6	21.0	23.2	21.3	22.2	18.9

[0077]

[0078]

그리고 공정을 적용하기 전 토양 내 구리의 초기 존재형태별 농도 분포를 연속추출법으로 분석한 결과, 상기 ① 용해성 또는 이온결합 형태의 농도는 1.31mg/kg, ② 탄산염 형태의 농도는 75.82mg/kg, ③ 철/망간 산화물 형태의 농도는 98.64mg/kg, ④ 유기물/황화물 형태의 농도는 29.65mg/kg, ⑤ 잔류형태의 농도는 56.67mg/kg 등으로 나타났으며, 이러한 결과로부터 오염토양 내의 강한결합 형태가 차지하는 비율[$x = \text{상기 (3)형태농도} + \text{4)형태농도} / \text{①형태 내지 ④형태 농도의 합}$]을 계산하면, 62.45%(0.6245)로 계산되며, 이를 상기 본 발명에 따른 [수학식 1]에 적용할 경우 반파 정류와 전파 정류의 운전기간은 각각 3일과 7일로 계산되므로 이는 상기 [표 2]에 나타난 바와 같이 가장 높은 제거효율과 전기에너지 소모량 당 제거량을 보일 때의 전원공급방식이므로 본 시험에의 결과는 본 발명에 따른 상기 [수학식 1]이 이론적으로 성립되는 것을 뒷받침하는 것이라 하겠다.

[0079]

<시험예 2>

[0080]

본 시험예에서는 1차원적 전극배열과 2차원적 전극배열에 따른 공정효율의 비교를 위해서 기존에 일반적으로 사용되어 오고 있는 전파 정류만을 이용한 단일 전원공급방식으로 시험을 진행하였으며, 도 1에 도시된 1차원적 전극배열 처리장치와 도 2의 2차원 전극배열적 처리장치를 이용하여 시험을 수행하였다.

[0081]

또, 2차원적 전극배열인 경우 육각형의 2차원적 전극배열과 삼각형의 2차원적 전극배열로 구분하여 비교시험 하였으며, 이때, 삼각형의 2차원적 전극배열은 음극부를 중심으로 삼각형을 이루는 3개의 양극부만을 설치하여 시험하였다.

[0082]

토양시료는 시험예 1에서 사용한 토양시료와 동일한 토양시료를 사용하였으며, 기타, 본 시험에 사용된 조건들을 아래 [표 3]에 요약하여 정리하였다.

[0083]

그리고 시험예 1과 동일하게 10일간의 총 공정 기간 중 1, 3, 5, 7, 10일째에 도 1에 표시된 바와 같이 위쪽부터 토양을 5부분으로 나누어 토양시료를 채취하였으며, 도 2에서도 동일한 방식으로 토양 시료를 채취하였다. 채취된 토양시료는 우리나라 토양오염공정시험방법 중 구리 공정시험법을 이용하여 초기 토양 내 구리의 농도를 분석한 후 공정 전 토양 내 초기 구리 농도를 이용하여 각 채취일별 제거효율 및 전기에너지 소모량 당 제거량을 계산하였다. 그 결과를 [표 4]에 나타내었다.

표 3

표 3. 전극배열방식에 따른 공정 비교 실험을 위한 운전조건

실험 조건		1차원 배열	2차원 배열	2차원 배열
			삼각형	육각형
양극전해질 용액		0.001M HNO ₃ (26L)		
음극전해질 용액		0.1M HNO ₃ (26L)		
실험기간(일)		10		
시료채취시점(일)		1, 3, 5, 7, 10		
전기장 세기(V/cm)		1		
전극개수	양극	5	3	6
	음극	5	1	1
동일전극간거리(cm)		15	24	10.4
양극-음극 거리(cm)		3	12.7	
토양셀 부피(cm ³)		1500	3768	
초기 수분 함량(%)		34.83		
초기 pH		6.35		
초기 구리 함량(mg/kg)		262.35		

[0084]

[0085]

표 4

표 4. 전극배열방식에 따른 공정 효율 비교 결과

		1차원 배열	2차원 배열	
			삼각형	육각형
제거 효율(%)	1일	18.0	7.4	11.0
	3일	18.6	26.3	31.9
	5일	23.0	42.5	45.6
	7일	24.1	48.9	52.4
	10일	38.8	53.7	57.6
전기에너지 소모량 당 제거량(g/kwh)	1일	17.1	15.4	19.9
	3일	17.5	36.5	30.7
	5일	19.0	47.3	35.9
	7일	19.3	50.9	38.9
	10일	21.6	52.4	40.6

[0086]

[0087]

상기 [표 4]에 나타난 바와 같이 본 시험예의 결과에 의하면, 동일한 공정기간 중 1차원적 전극배열에 비해 2차원적 전극배열을 이용한 시험에서 제거효율 및 전기에너지 소모량 당 제거량이 월등히 높은 것으로 나타나 2차원적 전극배열이 1차원적 전극배열보다 더 효율적임을 알 수 있었으며, 이는 상기에서 설명한 바와 같이 2차원적 전극배열의 경우 전기장이 비선형적으로 분포하여 중심부에 위치한 양극부로 접근할수록 전류밀도가 증가하게 되고 이러한 효과로 인하여 구리의 제거속도가 빨라지기 때문인 것으로 생각된다.

[0088]

그리고 2차원적 전극배열인 경우 제거효율은 육각형의 2차원적 전극배열이 높게 나타난 반면, 전기에너지 소모량 당 제거량은 삼각형의 2차원적 전극배열이 더 높게 나타났다. 이는 육각형의 2차원적 전극배열인 경우 같은 조건에서 전기에너지 소모량이 증가함으로써 나타난 결과라고 해석된다. 또 본 시험예의 결과로부터 2차원적 전극배열을 이용할 경우 전극의 개수를 줄일 수 있고, 전기에너지 소모량을 절감함과 동시에 제거효율도 향상시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 2차원적 전극배열인 경우 삼각형의 2차원적 전극배열과 육각형의 2차원적 전극배열의 장점을 연계한 전극배열을 고려한다면 공정의 효율과 경제성을 보다 향상시킬 수 있을 것이라고 예측되어, 이를 입증하기 위하여 아래 시험예 3을 수행하였다.

[0089]

<시험예 3>

[0090]

상기 시험예에서 수행한 전원공급방식과 전극배열에 따른 공정별 효율을 비교한 결과를 바탕으로 본 시험예에서

는 전원공급방식과 전극배열을 최적으로 조합하여 공정의 효율성과 경제성을 향상시키는 방법을 모색하기 위하여 4개의 시험결과를 비교하였다. 전원공급방식은 종래 사용되어온 전파 정류만을 사용한 경우와 반파 정류 및 전파 정류를 혼합한 경우로 나누었고, 이와 더불어 전극배열은 도 3에 도시된 바와 같이 육각형 배열을 2개의 삼각형 배열로 나누어 순차적으로 적용하는 경우를 복합적으로 나누어 각 공정별 효율성을 비교하였다. 시험 대상 토양시료나 공정 중 토양시료 채취 방법, 그리고 인가한 전기장의 세기 등은 상기 시험에 1 및 2에서와 동일하게 적용하였으며, 본 시험예에서 적용된 상세한 시험조건은 아래 [표 5]에 정리하였다.

표 5

표 5. 전원공급방식과 전극배열방식을 연계한 공정별 비교 실험을 위한 운전조건

실험 조건		전 파10/ 변환4	전 파10/ 변환6	반파4/ 변환4/전 파6	반파3-전 파1/ 변환4/ 반파3-전 파3
양극전해질용액		0.001M HNO ₃ (26L)			
음극전해질용액		0.1M HNO ₃ (26L)			
실험기간 (일)	반파	0	0	4	6
	전파	10	10	6	4
전극위치변환시점 (일)		4	6	4	
시료채취시점(일)		1, 3, 5, 7, 10			
전기장 세기(V/cm)		1			
전극개수	양극	3			
	음극	1			
동일전극간거리(cm)		3			
양극-음극 거리(cm)		15			
토양셀 부피(cm ³)		3768			
초기 수분 함량(%)		34.83			
초기 pH		6.35			
초기 구리 함량 (mg/kg)		262.35			

[0091]

[0092]

상기 [표 5]에서 ‘전파 10/변환4’의 시험조건은 전파 정류를 10일간 그리고 2개의 삼각형 배열의 순차적인 운전을 위한 전극위치변환 시점은 4일을 의미하며, [표 5]에서 가장 복잡한 구성인 ‘반파3-전파1/변환4/반파3-전파4’는 2개의 삼각형 배열의 전극위치변환 시점은 4일을 의미하고, 초기 삼각형 배열에서는 반파 정류 3일, 전파 정류 1일, 그리고 후기 삼각형 배열에서는 반파 정류 3일, 전파 정류 4일로 운전하였다는 것을 의미한다. 본 시험예에 따른 시험결과는 아래 [표 6]에 나타내었다.

표 6

표 6. 전원공급방식과 전극배열방식을 연계한 공정별 효율 비교 결과

		전파10/ 변환4	전파10/ 변환6	반파4/ 변환4/전파6	반파3-전파1/ 변환4/ 반파3-전파3
제거 효율 (%)	1일	5.9	5.9	8.3	15.3
	3일	21.5	20.8	24.6	27.6
	5일	35.3	35.9	40.4	36.3
	7일	46.0	48.4	53.0	60.1
	10일	57.1	55.5	58.8	63.7
전기에너지 소모량당 제거량 (g/kwh)	1일	11.4	10.1	16.6	26.4
	3일	34.2	31.3	31.8	34.1
	5일	41.6	41.8	38.2	41.5
	7일	47.2	48.4	49.4	53.0
	10일	51.1	50.8	52.6	55.0

[0093]

[0094]

상기 [표 6]에 나타난 결과와 상기 시험예 1 및 2의 결과들인 [표 2] 및 [표 4]의 결과들을 비교하면, 전원공급

방식에 관계없이 전극위치 변환만으로도 제거효율을 월등히 높일 수 있을 뿐만 아니라, 전기에너지 소모량 당 제거량도 증가시킬 수 있었다. 이는 상기 시험예 2의 결과인 [표 4]에서 언급했듯이 삼각형 배열의 전기에너지 소모량이 감소하기 때문이다.

[0095] 그리고 전극위치 변환과 더불어 전원공급형태의 변환까지 복합적으로 비교한 경우에는 전극위치변환 시점을 4일로 했을 때 전극위치변환 전의 초기 삼각형 전극배열방식의 공정을 반과 정류 3일과 전과 정류 1일, 그 다음 전극위치변환 후의 후기 삼각형 전극배열 공정에서 반과 3일과 전과 3일로 운전했을 때 다른 시험예들에 비해서 제거효율이 월등히 향상되었으며, 전기에너지 소모량 당 제거량도 증가함을 알 수 있었다. 이러한 결과 중 전원공급형태에 의한 효과는 시험예 1에서 설명한 바와 같이 구리의 존재형태 중 강한 결합형태로 존재하는 비율이 약 60% 정도이기 때문에 2개의 삼각형 전극배열에서의 반과 정류의 운전기간은 각각 3일로 계산된다(도 7의 S50-2 및 S50-3).

[0096] 그리고 상기 도 7의 설명에서와 같이 초기 삼각형 배열과 후기 삼각형 배열에서 구리가 이동할 면적비가 1 : 3이기 때문에 전과 정류의 운전기간이 각각 1일과 4일로 계산된다(도 7의 S50-2 및 S50-3).

[0097] 따라서 본 시험예의 결과는 도 1에 제시한 공정의 흐름도에서 제시한 전극위치 변환시점의 설정과 전극위치 변환 전, 후의 각 전원형태별 운전기간의 산정방법, 즉, 상기 [수학식 2]가 이론적으로 성립되는 것을 뒷받침하는 것이라 하겠다.

[0098] 상기 시험예 1, 2 및 3의 결과들로부터 반과 정류와 전과 정류를 혼합한 전원공급형태와 육각형의 2차원적 전극배열을 2개의 삼각형 전극배열방식으로 나누어 순차적으로 적용하는 전극배열방식 등을 복합적으로 운전할 경우 공정의 효율 증진과 더불어 전기에너지 소모량과 전극 제작비 및 설치비 등을 절감할 수 있어서 공정의 경제성을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

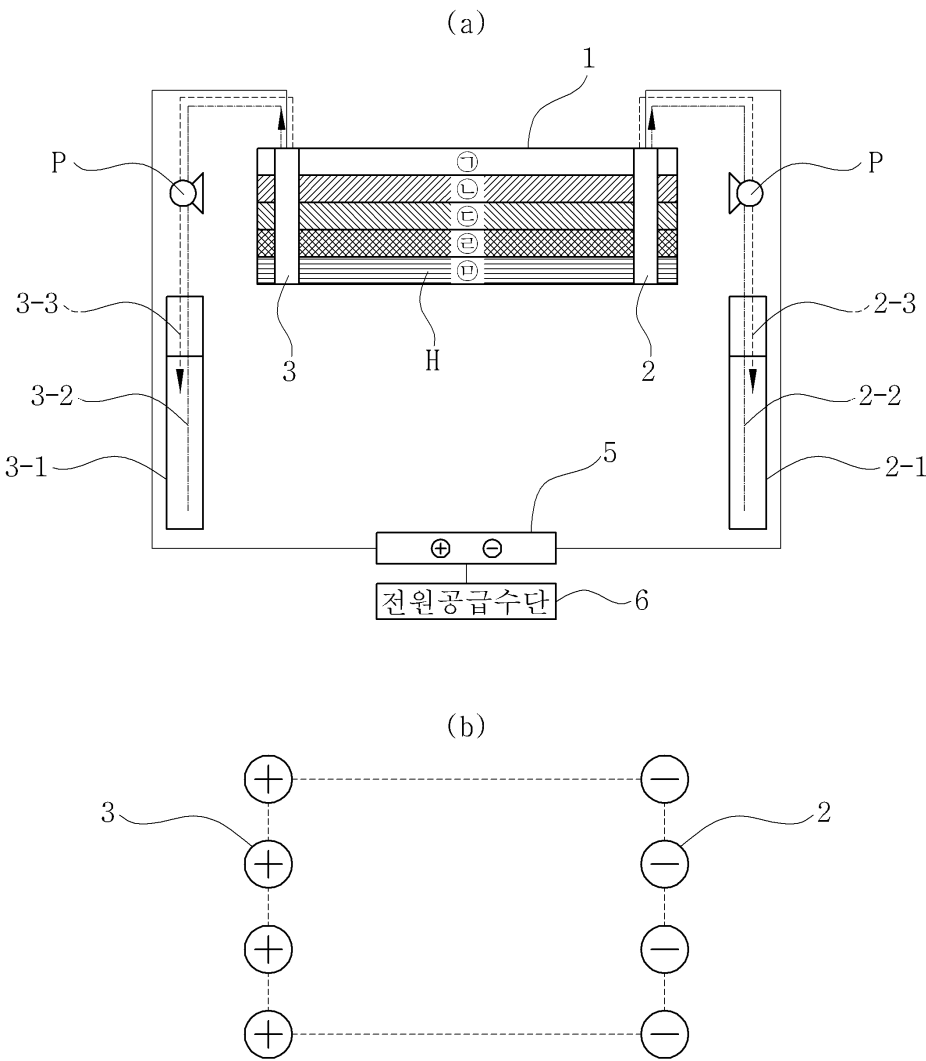
부호의 설명

[0099]

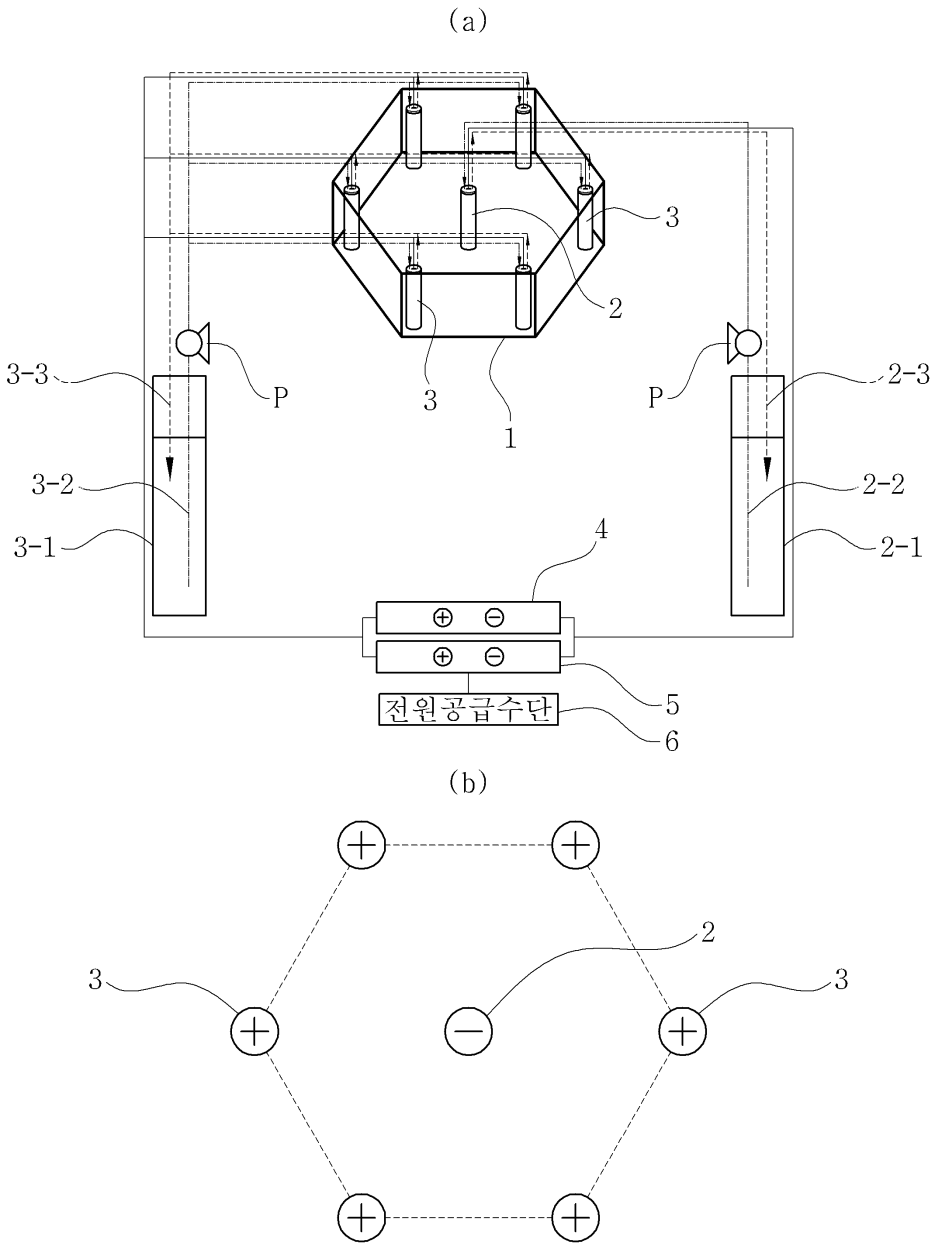
1 : 오염토양지	2 : 음극부
3 : 양극부	2-1 : 전해질용액 저장탱크
2-2 : 전해질용액 주입관	2-3 : 전해질용액 배출관
3-1 : 전해질용액 저장탱크	3-2 : 전해질용액 주입관
3-3 : 전해질용액 배출관	4 : 반과 정류기
5 : 전과 정류기	6 : 전원공급수단
a : 전극(양극, 음극)	b : 다공성 중공관
H : 오염토양	P : 펌프

도면

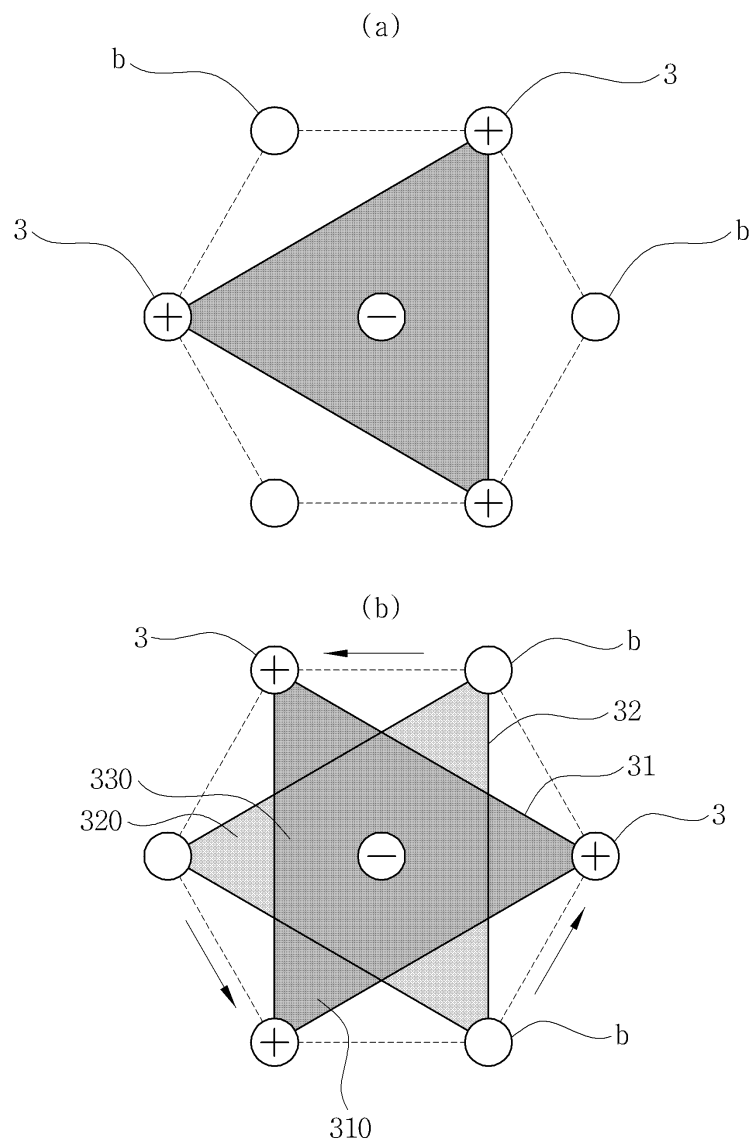
도면1



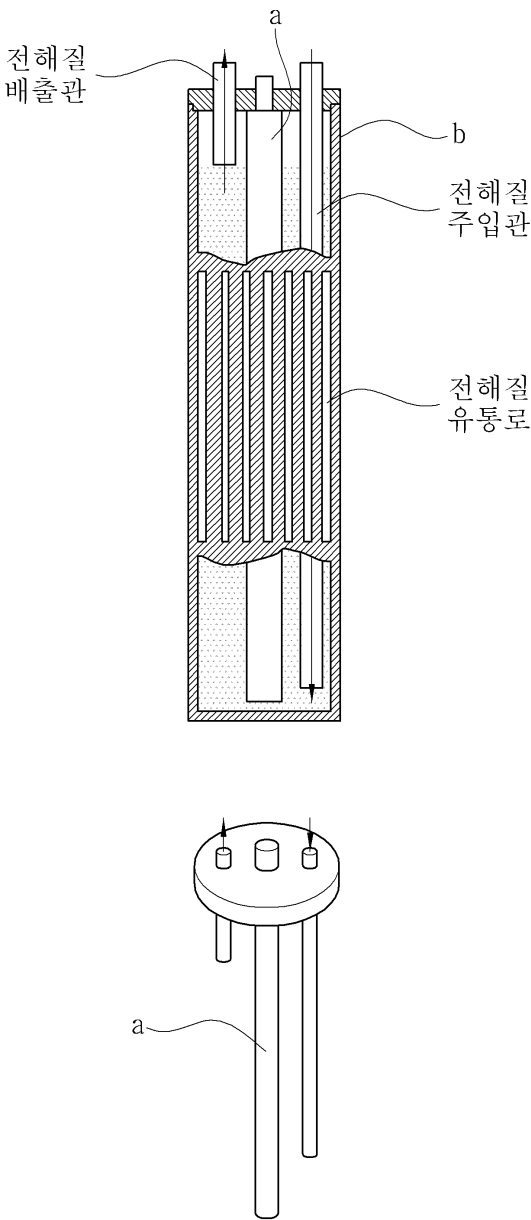
도면2



도면3

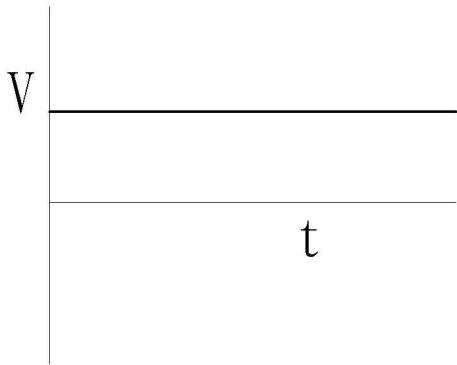


도면4

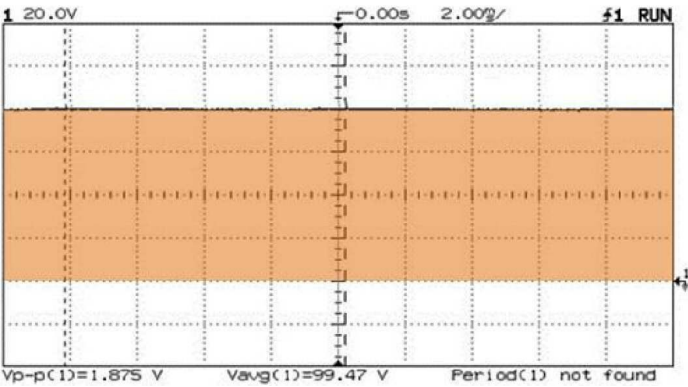


도면5

(a)

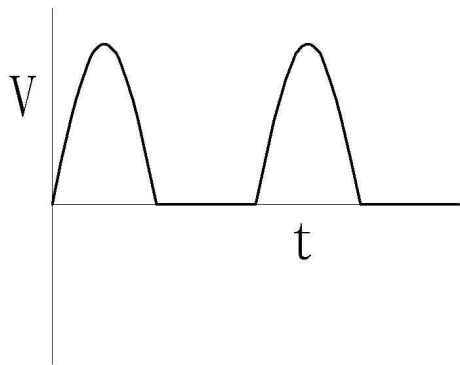


(b)

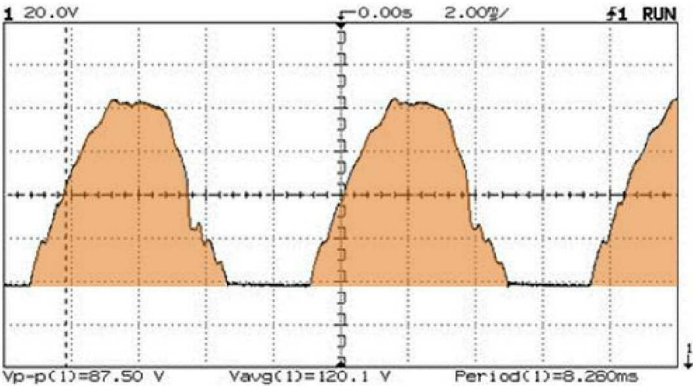


도면6

(a)



(b)



도면7

