



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2013년04월23일  
 (11) 등록번호 10-1257447  
 (24) 등록일자 2013년04월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 C09K 17/40 (2006.01) B09B 3/00 (2006.01)  
 C02F 11/00 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2013-0008510  
 (22) 출원일자 2013년01월25일  
 심사청구일자 2013년01월25일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR101067473 B1\*  
 KR100919620 B1\*  
 KR101120058 B1\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
**김경호**  
 전라북도 익산시 무왕로19길 11 ,601동1106호(어양동, 어양주공6단지)  
**강희창**  
 서울특별시 강남구 언주로 406, 33동 501호 (역삼동, 개나리아파트)  
 (72) 발명자  
**강희창**  
 서울특별시 강남구 언주로 406, 33동 501호 (역삼동, 개나리아파트)  
**김경호**  
 전라북도 익산시 무왕로19길 11 ,601동1106호(어양동, 어양주공6단지)  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
**한라특허법인**

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 정두한

(54) 발명의 명칭 **폐자원의 고화에 의한 인공토양의 제조방법**

**(57) 요약**

본 발명은 폐자원의 고화에 의한 인공토양의 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 상세히 설명하면 호소 및 하천준설 슬러지와 정수 슬러지, 탄산칼슘 제조공정 부산물인 무기성 석회탈수 슬러지와 폴리실리콘 슬러지, 바텀애쉬, 포졸란 물질인 소각재, 플라이애쉬 및 분진, 그리고 재생골재 부산물인 폐토사 또는 강알카리성 레드머드를 소정 비율로 혼합하여 천연의 흙과 동일한 수준이거나 그 이상의 품질을 가진 인공토양을 구성함으로써, 폐자원을 경제적으로 환경 친화적인 흙으로 용이하게 제조가 가능하여 토사가 부족한 건축 및 토목공사나 토양 개량 등에 재 활용할 수 있는 인공토양을 제조하는 방법에 관한 것이다.

(72) 발명자

**구기갑**

서울특별시 마포구 백범로 35(신수동) 서강대학교  
화공생명공학과

**김재경**

서울특별시 마포구 백범로 35(신수동) 서강대학교  
화공생명공학과

**심홍민**

서울특별시 마포구 백범로 35(신수동) 서강대학교  
화공생명공학과

**정재윤**

서울특별시 마포구 백범로 35(신수동) 서강대학교  
화공생명공학과

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

호소 및 하천준설 슬러지 중에 선택된 하나 이상의 슬러지와 정수 슬러지를 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합하여 제1 혼합물을 제조하는 1차 혼합단계;

석회탈수 슬러지와 폴리실리콘 슬러지를 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합하여 제2혼합물을 제조하는 2차 혼합단계;

제1혼합물과 제2혼합물, 그리고 바텀애쉬를 1:(0.5~2):(3~5)의 중량비로 혼합하여 제3혼합물을 제조하는 3차 혼합단계;

제3혼합물에 소각재, 플라이애쉬 및 분진 중에서 선택된 하나 이상을 제3혼합물 100 중량부 대비 10~40 중량부로 더 혼합하여 제4혼합물을 제조하는 4차 혼합단계;

제4혼합물에 경소백운석, 건식탈황석고, 산화칼슘 중에서 선택된 어느 하나 이상을 제4혼합물 100 중량부 대비 1~10 중량부로 더 혼합하고 양생시켜 제5혼합물을 제조하는 5차 양생단계; 및

상기 제5혼합물과 페토사 혹은 레드머드를 1:0.01~1의 중량비로 혼합하여 인공토양인 제6혼합물을 얻는 6차 혼합단계; 그리고

상기 페토사 혹은 레드머드는 인산석고, 티탄석고, 불산석고, 황산철, 황산철 일수물, 황산반토, 염화철 중에서 선택되는 어느 하나 이상의 산성물질을 페토사 혹은 레드머드 100 중량부 대비 1~50 중량부로 혼합하여 중화처리하는 단계

를 포함하는 폐자원의 고화에 의한 인공토양의 제조방법.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서, 4차 혼합단계에서 제4혼합물은 수화 반응과 고화에 의해 발열이 시작되어 수증기 증발에 의한 수분 함량 감소가 일어나며 발열에 의해 가열된 고화물의 온도가 25 ℃에 도달되었을 때 함수율이 20%이하가 되도록 하는 것을 특징으로 하는 인공토양의 제조방법.

**청구항 3**

청구항 1에 있어서, 6차 혼합단계에서 제5혼합물과 페토사 혹은 레드머드 혼합물의 혼합은 pH 7 ~ 8 범위에서 수행되는 것을 특징으로 하는 인공토양의 제조방법.

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 폐자원의 고화에 의한 인공토양의 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 상세히 설명하면 호소 및 하천준설 슬러지와 정수 슬러지, 탄산칼슘 제조공정 부산물인 무기성 석회탈수 슬러지와 폴리실리콘 슬러지, 바텀애쉬, 포졸란 물질인 소각재, 플라이애쉬 및 분진, 그리고 재생골재 부산물인 페토사 혹은 레드머드를 소정 비율로 혼합하고 고화하여 천연의 흙과 동일한 수준이거나 그 이상의 품질을 가진 인공토양을 구성함으로써, 폐자원을 경제적으로 환경 친화적인 토양으로 용이하게 제조가 가능하여 토사가 부족한 건축 및 토목공사나 토양

개량 등에 재활용할 수 있는 인공토양을 제조하는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

- [0002] 각종 건설공사에는 여러 형태의 건설 재료들이 사용되는 데, 그 중에서도 가장 필수적이며 많은 양이 소모되는 것으로 성토재(盛土材)가 있다. 성토재는 현재 거의 모든 건설 및 토목 분야에서 천연 재료인 흙이 이용되고 있는 데, 일반적으로 건설공사에 있어 흙은 silt, 점토, 모래, 자갈 등이 모두 포함된 것이다. 성토(盛土)는 토목, 건축, 도로, 조경 공사 등 건축 현장의 전반에서 이루어지고 있으며 이에 이용되는 성토재는 노척, 노상, 동상방지, 설비, 기초, 보조 기층 및 기층, 부지 시설, 부지 조성 등 다양한 용도로 사용된다. 성토 공사에 소요되는 성토재료를 육상 토취장에서 개발하여 사용할 경우 토취장 개발과 관련된 민원과 환경 파괴 문제가 대두되므로 점점 육상 토취장의 허가와 개발이 어려워지고 있으며 성토재료로 널리 활용되는 모래는 하천 골재 채취 및 석산 개발의 제한 등 환경 규제가 확대됨에 따라 대규모 물량의 확보가 어려워 이에 따른 성토공사비의 단가가 지속적으로 상승되고 있다.
- [0003] 이를 해결하기 위해서 정부에서는 절토, 기존 흙에 시멘트 혹은 고화제를 혼합하여 사용하거나 처음부터 성토용 시멘트 블록, 콘크리트 블록 형태로 이용하는 방법, 폐콘크리트, 폐아스팔트, 제강 슬래그, 폐주물사 등의 건설 폐기물을 천연 흙과 일정 분량으로 혼합하여 사용하는 방법이 강구되고 있지만, 환경 훼손, 유해 물질 용출에 의한 2차 환경오염, 경제성, 물류비용으로 인해 성토재 수급에 어려움이 있다. 그러므로 기존의 천연 흙 소재를 대체 또는 동등한 물성을 보이는 성토재의 개발이 시급하다 할 수 있다.
- [0004] 한편, 폐자원인 슬러지의 경우 대부분 매립 또는 소각되고 있는데, '폐기물 및 그 밖의 물질의 투기에 의한 해양오염방지에 관한 협약'(Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter 1972, London convention)에 의하여 2012년부터 dredged material, sewage sludge와 같은 폐기물의 해양 투기(marine dumping)가 전면 금지되면서 막대한 해양 투기 물량이 전량 육상에서 매립 처리되어야 할 처지에 놓여 있다. 이럴 경우 매립지 감소와 2차 토양오염에 따른 매립부지 선정 문제가 대두될 우려가 있다.
- [0005] 따라서 불연성 또는 가연성 슬러지의 소각, 퇴비화, 재활용을 비롯한 다양한 기술 개발과 함께 슬러지나 준설토, 점토 퇴적물 등을 주로 인공토양으로 재활용하는 주된 연구 대상이 되고 있다.
- [0006] 일반적으로 정수 슬러지는 국내 정수장에서 상수원으로부터 취수된 수의 탁도 유발 물질을 응집 보조제인 Alum(sodium 또는 potassium 염)과 PAC(polyaluminum chloride), 알카리화제인 소석회, 분말 활성탄으로 제거하는 과정에서 침전되어 발생하는 진흙 상태의 물질로서 많은 양의 수분, 점토, 모래, 유기물질 및 응집제로 구성되어 있다. 성분상의 구성 비율은 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 각각 30~60%, 20~35%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 가 2~6%이며 유기물 함량은 6~30% 정도이다. 정수 슬러지의 문제점은 일반 점토에 비해 많은 유기물 함량, 수분 함량과 공극률이 크므로 단순하게 탈수에 의존할 경우 토양으로 재활용되었을 때 일정한 강도와 지지력을 얻기 힘들며 매우 세립질로서 토질공학적인 보수력, 보비력, 통기성, 배수성이 좋지 않은 점이다. 또, 인산흡수 계수가 높으므로 수산화알루미늄의 불활성화가 반드시 필요하므로 대부분 매립되었다. 그러나 이와 같은 처리 방법은 높은 함수율로 인해 매립장의 안전을 저해하고 발생하는 침출수에 의해 주변 토양 및 지하수가 오염되는 문제가 발생할 수 있다. 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 정수 슬러지를 유용한 토양으로 재활용하기 위한 기술 개발이 속속 제안되고 있다(한국등록특허 10-0242766호 및 한국등록특허 10-0274532호).
- [0007] 그러나 흙과 정수 슬러지를 배합하게 되면 함수율은 감소되지만 정수 슬러지의 점토성으로 인해 수분이 우기(雨季)시에 흙과 정수 슬러지 입자 표면에 재흡착되는 문제점이 있다.
- [0008] 석탄재(coal ash)는 화력 발전소 등에서 무연탄 혹은 유연탄(미분탄 형태)의 연소 공정 후에 잔류되는 재(ash)로 정의된다. 국내 대부분 화력 발전소의 미분탄 연소 과정에서 발생되고 있으며 그 이외에도 제철소, 제지공장, 폐기물 소각로, 열병합 발전소 등 다양한 산업 현장에서 발생되고 있다. 석탄재의 주요 성분은 석탄의 종류, 산지, 연소 조건에 따라 달라지지만 SiO<sub>2</sub>가 가장 많은 부분을 차지하며 CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등으로 구성되어 있다. 연소 조건에 따라 미연 탄소(unburnt carbon)가 대략적으로 약 8~10% 정도 포함되어 있다. 통상적으로 석탄재는 연소되는 석탄에 따라 달라지지만 연소 전 중량 100%에 대하여 약 10 ~ 20% 정도 발생된다. 배출되는 석탄재의 평균 입경 크기가 약 100 μm 이하일 경우 플라이애쉬(fly ash)로 그 보다 클 경우는 바텀애쉬(bottom ash)로 구분된다. 석탄재는 일반폐기물로 재활용될 수 있음에도 불구하고 재활용률은 매우 낮은데 그 이유는 첫째, 석탄재에 염화물(염분)이 다량 포함되어 있어 시멘트 재료로 활용되었을 때 철근의 표면 부식을

일으키며, 둘째 석탄재의 다공성으로 인해 자체 강도가 낮을 뿐만 아니라 흡수율이 높아 콘크리트 골재로 재활용될 경우 강도 저하 및 동결융해에 약한 단점이 있기 때문이다. 또, 석탄재는 석탄에서 유래되는 As, Ba, Cd, Cr, Tl, Se, Mo, Hg 등 다양한 중금속 원소가 포함되어 있으므로 적절한 처리를 거치지 않고 저장되거나 폐기될 경우 빗물 혹은 지표수(지하수)에 의해 용출되어 생태계에 악영향을 미칠 수 있다. 그러므로 막대한 발생량에 비해 거의 재활용이 없는 상태로 대부분 매립되고 있다.

- [0009] 석탄재 중에서 fly ash는 시멘트 원료, 점토 대체재, 성토재, 토지 개량재, 경량 골재 등 다양한 원료로 활용되고 있다. 바텀애쉬는 콘크리트 제품에서 인공 골재 또는 천연 골재의 대체재, 경량 건자재의 제조에 활용되고 있다(한국등록특허 제10-0550268호 등).
- [0010] 제지슬러지 소각재는 제지공장에서 발생하는 슬러지(paper mill sludge)와 나무껍질을 소각하는 공정에서 발생하는 부산물이다. 제지 슬러지는 함수율이 65~75% 정도이고 섬유를 비롯한 유기 물질은 14%, 무기 물질은 36% 정도이다. 제지공장에서 배출되는 제지슬러지는 유기물의 부패로 인하여 토양 오염이 심각하므로 대부분 소각 처리된다.
- [0011] 폴리실리콘 슬러지(polysilicon sludge)는 다결정실리콘(polycrystalline silicon)의 절삭 공정에서 발생하는 부산물이다. 태양에너지 산업의 발달과 더불어 태양 전지판의 주요 소재로 활용되는 폴리실리콘의 생산과 함께 산업 폐기물인 슬러지의 발생량이 급격하게 증가하는 상태이지만 적절한 폐기 및 재활용 방안을 찾지 못하고 있으며 폐기 처분 장소의 부족과 폐기 비용의 증가로 인해 또 다른 환경 문제를 일으키고 있다.
- [0012] 폐석회는 대리석, 방해석, 선석(靛石), 빙주석(氷洲石), 석회석, 백암, 난각, 폐각, 산호 등을 가공 처리하여 생석회(CaO), 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>), 탄산석회(탄산칼슘, CaCO<sub>3</sub>), 소다회(무수 탄산나트륨, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 등을 생산하는 과정에서 발생하는 석회 잔류물을 통칭하는 개념으로 폐석회는 강알칼리성으로 인해 지정 폐기물에 가깝고, 높은 pH로 인해 다량의 암모니아 가스를 발생시키므로 악취 때문에 복토재 및 성토재로 개발되지 못하고 있다. 또한 석회질 비료, 보도블록, 벽돌, 시멘트 원료로 일부 활용되고 있지만 높은 함수율, 규격 미달, 시설 투자비로 인해 재활용 기술은 사업화되지 못했다.
- [0013] 폐석고는 배연탈황 공정(화력발전소 탈황설비에서 발생), 인산, 불산, 붕소, 티타늄 제조 공정에서 대량 부생되는 데 폐석고의 경우 pH가 2~3에 이를 정도로 매우 강한 산성이며 중금속 및 방사성 원소 등 유해불순물을 함유하고 있어서 방치될 경우 지하수 오염을 비롯한 환경오염이 발생할 수 있다. 폐석고의 재활용을 위해서는 유해 금속 성분의 제거, 중화, 하소, 조립 등의 여러 단계의 공정이 필요하다.
- [0014] 레드머드(red mud)는 Bauxite 광물에서 Bayer 공정에 의해 수산화알루미늄(Al(OH)<sub>3</sub>) 및 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 제조하는 과정에서 부생되는 폐기물이다. Bayer 공정(Bayer process)은 Bauxite를 고온에서 수산화나트륨에 용해시킨 후 Gibbsite(Al(OH)<sub>3</sub>)를 중정으로 하여 Na[Al(OH)<sub>4</sub>]를 제조하고 이를 가수분해 및 하소(calcination)하여 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로 제조하는 방법이다. 레드머드는 알루미늄 톤당 약 2톤 이상으로 발생되며 대략적인 입도 분포는 5 ~ 20 μm 정도이다. 주성분은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, CaO 등이고 이중 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 전체의 65% 이상을 차지하고 있다. 레드머드는 알루미늄 제조 공정상 NaOH와 함께 부생되므로 특성상 pH 12 이상의 강알칼리성을 띄고 있으며 건축 및 토목 재료로 활용되었을 때 백화 현상이 발생되어 더 이상 처리되지 못하고 사실상 방치되고 있다. 레드머드를 재활용되기 위해서는 수산화나트륨(NaOH)과 Bauxite에서 유래된 K<sub>2</sub>O에 대한 중화처리가 필요하다.
- [0015] 페콘크리트의 재활용 과정에서 발생하는 페콘크리트 미분말은 건설폐기물에 속하는 것으로서, 건설폐재류를 중간처리하는 과정에서 발생시킨 무기성 건설 슬러지는 토양오염을 일으키지 않는 범위에서 수분함량이 70%이하일 경우 탈수, 건조를 거쳐 성토 및 복토용으로 재활용될 수 있으며 부피 기준으로 토사와 50% 이상으로 혼합된 후 이용된다. 페콘크리트와 건설 슬러지는 여타 슬러지에 비해 매우 높은 재활용율이 높지만, 대부분 대지 조성재, 기초 매립재, 노반재, 아스팔트 혼합재, 시멘트 원료로 이용되며 자원 재활용 및 원가 절감 효과, 골재의 수급 부족에 불구하고 콘크리트 골재 제조와 성토재와 같은 부가가치가 높은 단계의 재활용에는 미치지 못하고 있다.
- [0016] 이와 같이, 종래의 슬러지, 준설토, 점토 퇴적물 등을 인공 토양으로 재활용하기 위한 방법들은 다음과 같은 문제점이 있다. 1) 고화제로 cement를 사용하게 되면 반응 조건이 강알칼리화되어 암모니아 발생이 급격히 일어나며 이에 따라 악취 발생, 악취 발생에 따른 재활용 처리 조작 및 운용상에 불편한 점이 있으며, 2) 암모니아 발생을 억제하기 위해서 강산의 첨가에 따른 중화 조작이 필수 불가결하며, 3) 포졸란성 물질과 폐자원만 이용될

경우 재활용 인공 토양의 강도 발현이 충분히 되지 않으며 포졸란, 고화제, 고화 촉진제 등 여러 화합물의 발열 반응이 동반되어야 충분한 수분 증발과 건조가 일어날 수 있다.

[0017] 또한, 매립석탄재, 소각재, 플라이애쉬, 무기성 슬러지, 건설폐재류 등 각종 산업 폐기물을 이용해 재활용 성토재를 개발하는 재활용기술은 많이 개시되어 있으나(한국등록특허 제10-981358호) 대부분의 기술이 목적하는 용도로서의 공학적 특성만을 만족시키는데 치중하고 있으며, 주변 환경을 고려한 생태학적 재활용 성토재, 특히 작물의 생육이 용이하고 유해물질 오염 우려가 없으며, 인간이 안심하고 섭취할 수 있는 농작물을 재배할 수 있을 정도의 재활용 성토재 개발 기술은 미흡한 실정이다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0018] (특허문헌 0001) 1. 한국등록특허 제10-0242766호
- (특허문헌 0002) 2. 한국등록특허 제10-0274532호
- (특허문헌 0003) 3. 한국등록특허 제10-0550268호
- (특허문헌 0004) 4. 한국등록특허 제10-981358호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0019] 본 발명자들은 상기와 같은 종래 기술의 문제점으로 지적되고 있는 pH 조절에 의한 악취 발생 억제, 수분의 충분한 감소를 통한 물성 안정화를 해결하기 위하여 다양한 노력을 경주한 결과, 폐자원에 산성물질과 강알칼리계 분말을 동시에 투입하게 되면 혼합물에서 발생하는 반응열을 통하여 폐자원에 포함되어 있는 수분을 증발시키고 암모니아 발생을 효과적으로 억제하여 악취를 제거할 수 있어서 폐자원을 재활용하여 경제적이고 간단한 방법으로 친환경적인 인공토양을 제조할 수 있다는 사실을 알게 되어 본 발명을 완성하였다.

[0020] 따라서 본 발명의 목적은 폐자원인 호소 또는 하천 준설 슬러지와 정수 슬러지를 재활용하여 경제적이고 친환경적으로 인공토양을 제조하는 방법을 제공하는데 있다.

[0021] 또한 본 발명의 다른 목적은 지력이 약해지거나 토성이 변하여 원래의 지력을 회복하기가 어려운 토양을 성질을 개량하는 일반 객토용도로도 활용할 수 있을 뿐만 아니라 산업용 건축 및 토목재료로 이용할 수 있는 재활용 인공토양의 제조방법을 제공하는데 있다.

**과제의 해결 수단**

[0022] 상기와 같은 과제 해결을 위하여, 본 발명은 호소 및 하천준설 슬러지 중 선택된 하나 이상의 슬러지와 정수 슬러지를 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합하여 제1혼합물을 제조하는 1차 혼합단계; 석회탈수 슬러지와 폴리실리콘 슬러지를 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합하여 제2혼합물을 제조하는 2차 혼합단계; 제1혼합물과 제2혼합물, 그리고 바텀애쉬를 1:(0.5~2):(3~5)의 중량비로 혼합하여 제3혼합물을 제조하는 3차 혼합단계; 제3혼합물에 소각재, 플라이애쉬 및 분진 중에서 선택된 하나 이상을 제3혼합물 100 중량부 대비 10~40 중량부로 더 혼합하여 제4혼합물을 제조하는 4차 혼합단계; 제4혼합물에 경소백운석, 건식탈황석고, 산화칼슘 중에서 선택된 어느 하나 이상을 제4혼합물 100 중량부 대비 1~10 중량부로 더 혼합하고 0.5~1일 동안 양생시켜 제5혼합물을 제조하는 5차 양생단계; 및 상기 제5혼합물과 폐토사 혹은 레드머드를 1:0.01~1의 중량비로 혼합하여 인공토양인 제6혼합물을 얻는 6차 혼합단계; 그리고 인산석고, 티탄석고, 불산석고, 황산철, 황산철 일수물, 황산반토, 염화철 중에서 선택되는 어느 하나 이상의 산성물질을 폐토사 혹은 레드머드 100 중량부 대비 1~50 중량부로 혼합하여 중화처리하는 단계를 포함하는 폐자원의 고화에 의한 인공토양의 제조방법을 제공한다.

[0023] 또한 본 발명은 a) 호소 및 하천준설 슬러지와 정수 슬러지가 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합된 제1혼합물과 석회탈

수 슬러지와 폴리실리콘 슬러지가 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합된 제2혼합물 및 바텀애쉬가 1:(0.5~2):(3~5)의 중량비로 혼합된 제3혼합물 100중량부, b) 소각재, 플라이애쉬 및 분진 중에서 선택된 하나 이상의 포졸란 물질 10~40 중량부, c) 경소백운석, 건식탈황석고, 산화칼슘 중에서 선택된 어느 하나 이상의 경화성 물질이 상기 a)와 b)의 합 100중량부에 대해 1~10 중량부가 혼합된, 상기 a)+b)+c)의 혼합물과 페토사 혹은 레드머드가 1:0.01~1의 중량비로 혼합되고 인산석고, 티탄석고, 불산석고, 황산철, 황산철 일수물, 황산반토, 염화철 중에서 선택되는 어느 하나 이상의 산성물질이 상기 페토사 혹은 레드머드 100 중량부 대비 1~50 중량부로 혼합된 것을 포함하는 인공토양을 제공한다.

**발명의 효과**

- [0024] 상기와 같은 본 발명의 제조방법은 기존의 슬러지와 석탄재 등의 폐자원을 재활용하면서 특정의 포졸란 물질과 경화제 조성을 적절하게 구성함으로써 천연 토양에 못지않은 친환경적인 인공토양을 경제적이고도 간단하게 제조할 수 있는 것이다.
- [0025] 또한, 본 발명에 따라 제조된 인공토양은 물리적 특성이 일반 흙과 유사하여 토사가 부족한 건설 현장이나 공유수면 매립, 도로 및 제방 축조, 연약 지반 개량, 항만부지 매립용, 산업단지 부지 매립용, 저지대 매립재, 해저지질 개선용, 인공 갯벌 조성용, 폐광산 복구재, 폐염전 매립용, 해안습지 조성용, 습지 표토재, 일반 토목 공사의 되메우기 및 채움재, 위생 매립자의 중간, 일일, 수시 복토재 혹은 녹생토 원료, 토양 개량제 등으로 재활용될 수 있도록 폐기물을 자원화할 수 있는 효과가 있다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0026] 이하 본 발명을 더욱 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0027] 본 발명은 호소 및 하천준설 슬러지와 정수 슬러지, 석회탈수 슬러지와 폴리실리콘 슬러지, 바텀애쉬, 그리고 포졸란 물질, 경화성 물질 및 페토사로 인공토양을 제조하는 방법에 관한 것이다.
- [0028] 폐자원을 이용하여 인공토양을 제조하기 위해서는 폐자원의 발생 단계에서 동반되는 수분의 함유량을 줄이면서 이를 경제적으로 고화시키는 기술이 필요하다.
- [0029] 고화처리는 높은 함수율 슬러지에 고화제를 첨가한 후 슬러지의 workability, 중금속 원소의 고정화, 압축강도, 투수성 등 토질 역학적 특성을 개선하여 성토재를 비롯한 건축 및 토목용 부재로 적합한 재료를 제조하는 공정이다.
- [0030] 본 발명에서는 이러한 기초에서 출발하여 준설토 및 여러 형태의 슬러지(하수, 상수, 호소, 광산, 제지, 피혁, 도금 등, 해안 퇴적물)에 고화제, 고화보조제, 포졸란성 물질을 첨가하여 폐자원을 복구재, 매립재, 채움재, 복토재, 토양 개량제, 녹생토 등으로 활용하기 위한 방법을 제안한다.
- [0031] 본 발명에서는 각종 폐자원의 활용방안을 연구하여 인공토양에 이용할 폐자원의 특성을 고려하고 각종 첨가 혼합성분들의 각 특성들도 다양하게 연구하여 본 발명에 따른 인공토양 제조를 위해 활용할 수 있는 성분들을 분석하고, 본 발명에서 폐자원의 고화 처리에 이용되는 성분을 특성에 따라 A, B, C, D, E, F로 분류하여 이를 토대로 본 발명을 구성한다.
- [0032] 여기서, A는 재활용 대상 폐자원이다.
- [0033] B는 주로 CaO와 SiO<sub>2</sub>이 고용체로 형성된 포졸란성 물질(pozzolanic material)이며 A에 포함되어 있는 자유 수분과 반응하여 대부분 Ca(OH)<sub>2</sub> 또는 칼슘 알루미늄실리케이트계열 수화물을 형성한다. 급격한 수화 반응으로 인해 수분 발산이 동반되며 재활용 폐자원의 수분 함량 감소, D 화합물에서 공급되는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 이온과 반응하여 경화제(trisulfate 또는 monosulfate계열의 칼슘 알루미늄실리케이트 화합물, ettringite)를 형성한다. 슬러지가 성토재 등 인공 토양으로 재활용될 경우 강도 발현과 음이온의 치환효과에 따라 폐자원에 포함되어 있는 중금속 원소의 고정화에도 역할을 하게 된다.
- [0034] C는 CaO(시멘트가 이용되면 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 공급되기도 함)로 주로 구성되어 있으며 폐자원의 고화 반응에 가장

중요한  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  공급원이다.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는  $\text{CaO}$ 의 수화에 의해 생성되며 D에서 공급되는  $\text{SO}_4^{2-}$ 와 반응에 의해 경화되어 고화체(성토제)를 형성한다. B와는 달리 높은  $\text{CaO}$ 의 함량으로 인해 고화체의 주요 성분이다. C는 폐자원 A의 수분에 의해 수화되면서 급속한 발열을 일으키며 수분 함유량을 낮게 만드는 재료이다. 또한, C는 세립질의 폐자원을 급속하게 안정화하며 중금속 원소를 고정화시킨다.

[0035] D는 폐자원의 경화 반응에서 중요한 성분인 ettringite의 생성에서  $\text{SO}_4^{2-}$ 를 공급하며 폐자원(슬러지)과 B 성분의 발열 반응을 촉진한다.  $\text{SO}_4^{2-}$  이온의 공급으로 인해  $\text{CaO}$  또는  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 용해도가 증가되어 단기간 고화체(성토제)의 강도는 상승되지만  $\text{Al}_2\text{O}_3$  함량이 높을 경우 용해도 감소로 인해 고화 지연 현상이 나타날 수 있다.

[0036] E 성분은 A, B 성분과 C 성분의 반응에 의해 조성되는 높은 pH를 중성으로 하기 위한 pH 조절제이다. 만약 슬러지의 재활용은 대부분 높은 알칼리성 상태에서 반응이 진행되는 데 이 경우 슬러지에 포함되어 있는 유기물의 분해가 촉진되어 악취가 발생된다. 그러므로 중성 조건으로 pH를 되돌려서 최종 제조되는 재활용 인공 토양의 pH를 중성에 가깝도록 하여 악취 발생, 악취 발생에 따른 복토 및 성토 조성 공사에서의 악취발생 방지를 위해 pH 조절제가 첨가된다. 기타 성분으로 분류된 E는 A, B, C, D와는 다른 작용을 하게 되는 데, 수분의 재흡착을 방지하기 위해 계면활성제, 악취 발생을 억제하기 위한 탈취제, 중금속 유출을 방지하기 위한 킬레이트제, 슬러지의 플록을 형성하기 위한 응집제 등이 사용될 수 있다.

[0037] 이러한 성분의 분류를 토대로 하여 각 성분의 특성을 고려하여 본 발명에 따른 인공토양의 제조에 응용하였다.

[0038] 본 발명에서 사용되는 바텀애쉬와 플라이애쉬는 각각 석탄재에서 유래된 것이다.

[0039] 본 발명에 따른 제조방법을 하나의 구현 예로서 설명하면 다음과 같은 방법이 전형적인 예가 될 수 있다.

[0040] 먼저 수분을 제외한 고형분의 주성분이 점토질인 함수율 20~40중량%의 호소 및 하천준설 슬러지 중 하나 이상의 슬러지와 상수도시설 부산물인 함수율 40~60중량%의 정수 슬러지를 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합하여 제1혼합물을 제조하는 1차 혼합단계를 거친다.

[0041] 별도의 혼합기로 탄산칼슘 제조 공정에서 부생되는 함수율 40~55중량%의 탄산칼슘공업 탈수슬러지와 폴리실리콘 제조 공정으로부터 발생하는 부산물인 실리콘 슬러지를 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합하여 순수한 무기성 제2혼합물을 제조하는 2차 혼합단계를 거친다.

[0042] 상기 1차 혼합단계와 2차 혼합단계를 거친 제1혼합물 및 제2혼합물에 압축강도 향상과 단립화를 부여하기 위해 석탄 화력발전소 연소부산물인 바텀애쉬, 바람직하게는 염분이 제거된 바텀애쉬를 1:(0.5~2):(3~5)의 중량비로 혼합하여 통기성, 투수성, 보습성이 좋은 사질양토와 같은 단립화된 제3혼합물을 제조하는 3차 혼합단계를 거친다.

[0043] 상기 3차 혼합단계를 거친 제3혼합물의 수분을 조절하기 위해 흡수성 물질이면서 포졸란 물질인 소각재, 플라이애쉬 및 분진 중에서 선택된 어느 하나 이상을 제3혼합물 100 중량부 대비 10~40 중량부로 더 혼합하여 제4혼합물을 제조하는 4차 혼합단계를 거친다.

[0044] 상기 제4혼합물의 입자 상호간 결속력을 증대시키고 일축 압축강도를 증진시키기 위한 경화성 물질로 경소백운석, 건식탈황석고, 산화칼슘 중에서 선택된 어느 하나 이상을 제4혼합물 100 중량부 대비 1~10 중량부로 더 혼합하여 경화성 물질의 수화반응을 이용해 0.5~1일 동안 양생시켜 제5혼합물을 제조하는 5차 양생단계를 거친다.

[0045] 상기 5차 양생단계를 거친 제5혼합물에 폐토사 혹은 레드머드를 1:0.01~1 중량비로 혼합하고 목적하는 인공토양인 제6혼합물을 제조하는 6차 혼합단계를 거친다. 이는 산성물질로 처리된다.

[0046] 상기와 같은 본 발명의 제조방법을 공정별로 좀더 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0047] 1차 혼합단계는 일반적으로 호소를 정비하여 저수용량을 복원하거나, 하천을 정비하거나, 수로를 정비하고 오염수역을 정화하는 과정에서 발생하는 함수율이 20~40중량%인 호소 및 하천준설 슬러지 중 선택된 하나 이상의 슬러지(수분을 제외한 고형분 중 유기물 함량 : 10~20중량%)와 함수율이 40~60중량%인 정수 슬러지(수분을 제외한 고형분 중 유기물 함량 : 30~50중량%)를 1:0.5~1.5중량비로 혼합하여 제1혼합물을 제조하는 단계이다. 이렇게 제조된 제1혼합물은 재활용 인공토양의 중요한 재료로 이용될 수 있으며 점토(clay)와 실트(silt) 성분이 다수를 차지하고 있다. 혼합물, 그 자체로는 통기성과 투수성이 불량하여 그대로 성토제 또는 복토제로 사용할 경우



땅속에서 혐기성 분해를 일으켜 토양오염을 유발하게 된다. 여기서 이렇게 2종의 슬러지를 혼합사용하는 이유는 분해에서 발생하는 유해 가스의 발생량을 감소시킬 수 있고 상대적으로 유기물 함량이 줄어들어 고화가 용이하며 적은 양의 알루미늄실리케이트계 부산물과 CaO로 쉽게 함수비율을 조절할 수 있기 때문이다.

[0048] 2차 혼합단계는 고순도 탄산칼슘 제조 공정에서 발생하는 부산물인 함수율 40~55중량%의 탄산칼슘공업 석회탈수 슬러지와 태양광 반도체 소자인 폴리실리콘을 제조하는 일련의 공정으로부터 발생하는 부산물인 실리콘 슬러지를 1:0.5~1.5중량비로 혼합하여 제2혼합물을 제조하는 단계이다. 이렇게 제조된 제2혼합물은 보수성이 약하고 투수성이 가소성, 전단강도가 크다. 여기서 2종의 슬러지를 혼합 사용하는 이유는 상기 1차 혼합단계에서 얻어진 혼합물의 강도 발현을 위한 CaCO<sub>3</sub>을 공급하기 위한 것이다.

[0049] 3차 혼합단계는 상기 제1혼합물과 제2혼합물을 동일한 중량 비율로 혼합하여 토양의 공학적 특성을 상호 보완하며, 압축강도와 단립화를 촉진시키기 위하여 평균 입경이 비교적 큰 바텀애쉬, 바람직하게는 염분이 제거된 바텀애쉬를 일정비율, 즉 제1혼합물: 제2혼합물: 바텀애쉬를 1:(0.5~2):(3~5)의 중량비로 혼합하여 통기성, 투수성, 보습성 및 가소성이 향상되고 압축강도가 증대된 제3혼합물을 제조하는 혼합단계이다. 여기서 제2혼합물이 너무 적거나 너무 많이 첨가되면 CaCO<sub>3</sub>의 특성상 최적 응결 시간과 강도에 도달되지 못하는 문제가 있다. 응결 촉진제 또는 응결 지연제로 작용될 가능성이 있다. 또한 바텀애쉬가 너무 소량이면 강도 발현에 소요되는 시간이 길어지며 발열 반응에 의한 수분 감소량이 적은 문제가 있고, 너무 과량이면 빠른 경화로 인해 급속한 발열 현상이 나타나며 제조된 경화체의 수송, 이동, 저장, 혼합이 곤란해지는 문제가 있다.

[0050] 4차 혼합단계는 3차 혼합단계를 거친 제3혼합물의 수분을 조절하기 위해 흡수성 물질이면서 포졸란성 물질인 소각재, 바람직하게는 제지슬러지 소각재, 플라이애쉬 및 분진 중에서 선택된 하나 이상을 제3혼합물 100 중량부 대비 10~40 중량부로 더 혼합하여 제4혼합물을 제조하는 혼합단계이다. 상기 소각재 중에서 가장 유용한 제지슬러지 소각재(Paper sludge ash)는 제지 공장 펄프 슬러지를 약 800~1000℃에서 소각한 후 발생된 소각재로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 전체 성분의 90% 이상을 차지하고 있는 대표적인 포졸란성 물질(Pozzolanic material)이다. 상기 플라이애쉬는 석탄을 열원으로 하는 석탄화력발전소 및 열병합발전소에서 석탄 연소 후 발생하는 부산물로 전기집진기에서 포집되는 미분말 형태의 플라이애쉬(fly ash)로서 전체 석탄재 발생량 중 약 75~80%를 차지하고 있고, 물리화학적 특성상 칼슘 알루미늄실리케이트 계열의 구형 입자형태로 포졸란 활성을 지니고 있을 뿐만 아니라 여러 측면에서 시멘트 대체재로 우수한 특성을 지니고 있는 물질이다. 상기 분진은 채석 혹은 석재가공 및 분쇄공정이나 광물질 가공 및 분쇄공정 중 발생하는 플라이애쉬(fly ash)를 집진기로 포집하여 발생하는 것을 특징으로 한다. 4차 혼합단계에서 제4혼합물은 수화 반응과 고화에 의해 발열이 시작되어 수증기 증발에 의한 수분 함량 감소가 일어나며 발열에 의해 가열된 고화물의 온도가 25℃에 도달되었을 때 함수율은 20중량%이하, 바람직하게는 3~15중량%가 되도록 하는 것이 최종 제조되는 인공 토양의 pH 조절을 위한 조절제 첨가량 선정과 개별 재료의 혼합을 위한 유동성 확보 측면에서 바람직하다.

[0051] 5차 양생단계는 상기 제4혼합물의 입자 상호간 결속력을 증대시키고 일축압축강도를 증진시키기 위한 경화성 물질로 경소백운석, 건식탈황석고, 산화칼슘 중에서 선택된 어느 하나 이상을 제4혼합물 100 중량부 대비 1~10 중량부로 더 혼합하여 경화성 물질의 수화반응을 이용해 0.5~1일 동안 양생시켜 제5혼합물을 제조하는 단계이다. 상기 경소백운석은 백운석(CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)을 700~1000℃로 소성하여 제조하는 것으로서 구성 성분은 CaO 60% 이상, MgO 32% 이상이다. 상기 건식탈황석고는 정유공장 유동층 연소보일러 배기가스의 건식탈황 공정 중 발생되며, 구체적으로는 탄산칼슘의 분해에서 발생하는 CaO와 SO<sub>2</sub>간의 반응에 의해 생성된다. 상기 산화칼슘(CaO)은 일반적으로 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)의 분해에 의해 생성되며 물에 용해될 경우 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이 생성되고 용액은 염기성을 띤다. 본 발명에서 산화칼슘의 함량은 80% 이상인 것을 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 5차 양생단계(S5)에서는 상기의 혼합물이 혼합에 의해 수화반응, 포졸란 반응, 흡수발열 반응을 거치며 안정화되는 단계이다.

[0052] 6차 혼합단계는 양생단계를 거친 제5혼합물에 페토사 혹은 레드머드를 1:0.1~1의 중량비로 혼합하여 목적하는 인공토양인 제6혼합물을 제조하는 단계이다. 상기 페토사는 페콘크리트를 분쇄하여 재생골재를 제조하는 과정에서 발생하는 미립질의 강알칼리성 페토사를 중화시킨 것을 사용하는 것이 바람직하다.

[0053] 페토사는 건설폐재류를 재활용한 토사류에 해당되어 그 자체로 재활용 성토재의 원료가 될 수 있지만, 강알칼리성으로 인해 적절한 중화를 거치지 않으면 재활용 인공 토양으로 활용되었을 때 알칼리성 용출수가 발생할 수 있다. 레드머드 역시 알루미늄 제2산화물 NaOH와 함께 부생되므로 특성상 강알칼리성을 띠고 있어 알칼리성 용출수가 발생할 수 있다. 이러한 페토사나 레드머드의 경우 위와 같이 강알칼리성 폐기물이라는 점 등으로 인

해 재활용이 거의 되지 못하고 친환경적 처리가 곤란하여 이를 재활용하는 측면에서 인공토양 소재로 적용하는 것은 환경상으로도 경제적으로 매우 유익하다. 따라서 이 단계에서 사용되는 페토사 또는 레드머드는 산성물질인 인산석고, 티탄석고, 불산석고, 황산철, 황산철 일수물, 황산반토, 염화철 중에서 선택되는 어느 하나 이상을 페토사 혹은 레드머드 100 중량부 대비 1~50 중량부 혼합하여 수소이온농도(pH)가 7~8 범위로 조절되도록 하는 것이 바람직하다.

[0054] 이러한 본 발명에 따른 인공토양의 제조방법은 기존의 슬러지와 석탄재 등의 폐자원을 재활용하면서 특정의 포졸란 물질과 경화제 조성을 적절하게 구성함으로써 고화시켜서 최적화함으로써 천연 토양에 못지않은 친환경적인 인공토양을 경제적이고도 간단하게 제조할 수 있는 것이다.

[0055] 본 발명에 따라 제조된 인공토양은 a) 호소 및 하천준설 슬러지 중 선택된 하나 이상의 슬러지와 정수 슬러지가 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합된 제1혼합물과 석회탈수 슬러지와 폴리실리콘 슬러지가 1:0.5~1.5의 중량비로 혼합된 제2혼합물 및 바텀애쉬가 1:(0.5~2):(3~5)의 중량비로 혼합된 제3혼합물 100중량부, b) 소각재, 석탄재 및 분진 중에서 선택된 하나 이상의 포졸란 물질 10~40 중량부, c) 경소백운석, 건식탈황석고, 산화칼슘 중에서 선택된 어느 하나 이상의 경화성 물질이 상기 a)와 b)의 합 100중량부에 대해 1~10 중량부가 혼합된 a)+b)+c)의 혼합물과 페토사 혹은 레드머드가 1:0.01~1의 중량비로 혼합되고 인산석고, 티탄석고, 불산석고, 황산철, 황산철 일수물, 황산반토, 염화철 중에서 선택되는 어느 하나 이상의 산성물질이 페토사 혹은 레드머드 100 중량부 대비 1~50 중량부로 혼합된 것으로 구성된다.

[0056] 이러한 본 발명에 따른 인공토양은 수분을 제외한 유기물 함량이 30~50 중량%로 제조될 수 있다.

[0057] 상기 단계를 거쳐 제조된 인공 토양은 물리적 특성이 일반 흙과 유사하여 토사가 부족한 건설 현장이나 공유수면 매립, 도로 및 제방 축조, 연약 지반 개량, 항만부지 매립용, 산업단지 부지 매립용, 저지대 매립제, 해저지질 개선용, 인공 갯벌 조성용, 폐광산 복구제, 폐염전 매립용, 해안습지 조성용, 습지 표토제, 일반 토목 공사의 되메우기 및 채움재, 위생 매립자의 중간, 일일, 수시 복토제 혹은 녹생토 원료, 토양 개량제 등으로 재활용될 수 있다.

[0058] 특히, 이렇게 본 발명에 따라 제조된 인공토양은 도로기층용, 도로보조기층용, 콘크리트 및 콘크리트 제품용, 아스팔트 콘크리트용, 동상방지층 및 차단층용, 하수관거용 잔골재, 노상 및 노체용, 되메우기 및 뒷채움용, 복토용, 성토용 등 토건분야에서 순환 골재 품질 기준을 만족하는 인공 토양으로 활용할 수 있는 것이다.

[0059] 이하 본 발명을 실시예에 의거 상세히 설명하겠는 바, 본 발명이 실시예에 의거 한정되는 것은 아니다.

[0060] 실시예 1 ~ 6

[0061] 다음 표 1의 조성으로 인공토양을 제조하되 호소 슬러지와 정수 슬러지를 1:1 중량비로 혼합하여 제1 혼합물을 제조하고, 별도로 석회탈수 슬러지와 폴리실리콘 슬러지를 1:1 중량비로 혼합하여 제2혼합물을 제조하고, 상기 제1혼합물, 제2혼합물, 바텀애쉬를 각각 1:1:4의 중량비로 혼합하여 제3혼합물을 제조한다. 제3혼합물에 포졸란 물질인 석탄재를 혼합하여 제4혼합물을 제조한다. 제4혼합물에 경화성 물질로 산화칼슘을 혼합하여 양생시켜 제5혼합물을 제조한다. 양생단계를 거친 제5혼합물에 인산석고 및 황산철로 처리한 페토사 혹은 레드머드를 혼합하여 제6혼합물인 최종 인공 토양 조성물을 제조하였다.

[0062] 다음 표 1에서 단위는 중량이다.

표 1

조성/g	실시예1	실시예2	실시예 3	실시예4	실시예5	실시예6
호소슬러지	100					
정수슬러지	100					
석회탈수슬러지	100					
실리콘슬러지	100					
바텀애쉬	800					
제지슬러지소각재	170	200	250	180	225	300
페토사	1100	90	500	200	150	700
산화칼슘	25	50	30	60	70	100
인산석고	10	5	100	215	178	152
황산철	30	5	46	100	162	197

[0064] 비교예 1 ~ 6

[0065] 상기 실시예와 동일한 비율로 하되 다음 표 2의 조성으로 인공 토양 조성물을 제조하였으며 조성에 따라 일부 성분을 제외하거나 상기 최적 범위를 벗어난 조건으로 비교 대상의 인공토양을 제조하였다.

표 2

[0066]

조성/g	비교예1	비교예2	비교예 3	비교예4	비교예5	비교예6
호소슬러지	100					
정수슬러지	100					
석회탈수슬러지	100					
실리콘슬러지	100					
플라이애쉬	800					
제지슬러지소각재	350	100	170	0	0	0
폐토사	1100	260	0	0	0	0
산화칼슘	150	715	50	80	0	0
인산석고	0	300	150	100	100	0
황산철	30	300	0	0	100	0

[0067] 실험예

[0068] 상기 표 1의 조성으로 인공토양을 제조한 실시예 1-6의 인공토양에 대해 물성시험을 실시하였다. 그 결과는 각각 다음 표 3 내지 표 5에 나타내었다.

[0069] 표 3에서 기준치로 제시된 값은 국토해양부 순환골재 품질기준 및 폐기물 관리법, 토목공사 표준일반시방서의 값을 참조하였다. 미국의 경우 복토재에 대하여 RCRA (Resource Conversation & Recovery Act) Subtitle D에서 규정된 값이 있으며 국내의 경우 복토재와 성토재는 거의 동등하게 규정되었으므로 이를 준용하였다(Interstate Technology & Regulating Council, Technical and Regulating Guidance for Design, Installation, and Monitoring of Alternative Final Landfill Cover ALT-2, Washington, D.C., 2003). 일본의 경우 최근 국토교통성 도시국 도시안전과에서 제시한 택지조성용 성토재의 물성값이 준용되었다(迅速な復興に資する再生資材の宅地造成盛土への活用に向けた基本的考え方, [http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi01\\_hh\\_000002.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi01_hh_000002.html)).

[0070] 표 3에서 제시된 물성치의 시험 방법은 KS 규격에 해당되는 것과 ASTM 규격, 미국 SSA (Soil Science Society of America) 규격, 일본 JGS(일본지반공학회) 및 JIS 규격을 각각 표기하였다. 표 4에서 PQL(practical quantitation limit)의 경우 미국 EPA 먹는 물 기준으로 이는 규제치는 아니지만 지하수에서 가장 낮은 농도로 정의되는 값이며 성토재, 복토재의 경우 특성상 지하수 오염을 유발할 수 있으므로 제시된 값을 참조하였다(Protocol for Conducting Environmental Compliance Audits of Facilities Regulated under Subtitle D of RCRA, [http://www.epa.gov/compliance/resources/policies/incentives/audit\\_ing/apcol-rcrad.pdf](http://www.epa.gov/compliance/resources/policies/incentives/audit_ing/apcol-rcrad.pdf)). 또한 일본 토양오염대책법에 따른 제2종 용출량 기준이 본 발명의 실시예에 따른 인공 토양 조성물의 환경 위해서 판별을 위해서 준용되었다(土壤汚染策法施行規則, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H14/H14F18001000029.html>). 표 5에서 제시된 CB TEC(Consensus Based Threshold Effect Concentration)는 Burton 이 발표한 논문에서 인용된 것으로 전세계 퇴적물의 품질 기준에서 문턱 효과 농도에 대하여 전문가들의 합의된 수치이다. 이는 성토재 또는 복토재로 본 발명의 인공 토양 조성물이 활용될 때 토양 오염을 고려할 수 있는 기준 값으로 준용하였다(G.A. Burton, Jr., Sediment Quality Criteria in use Around the World, Limnology, 3, 65-75 (2002)).

표 3

[0071]

구분	흙쌓기의 최상부면 으로부터 100cm 이 상의 하부 (국토해양부 순환 골재 품질 기준(2009.8), 폐 기물 관리법, 토목 공사 표준일반시방 서)	일본 국토교 통성	US EPA (Resource Conservation & Recovery Act) RCRA Subtitle D (40 CFR § 258) 및 US ECOS(Environme ntal Council of the States)  ITRC	시험방법	실 시 예 1	실 시 예 2	실 시 예 3	실 시 예 4	실 시 예 5	실 시 예 6
Cone index	-	>400 kN/m <sup>2</sup>	-	JIS A 1228	42 0	40 5	42 6	41 1	42 3	41 0
수정 CBR( 시방다짐)	2.5 이상	-	-	KS F 2320	1 4. 8	1 5. 1	1 0. 7	1 6. 2	1 5. 1	1 4. 3
CBR(수침팽창시험)	-	<3%	-	KS F 2320	1. 9	1. 8	1. 7	1. 5	1. 4	1. 6
다짐후 건조밀도 (t/m <sup>3</sup> )	1.5 이상	-	-	KS F 2312, ASTM D 1557	1. 61	1. 52	1. 6	1. 7	1. 6	1. 52
일축압축강도(MPa)	0.1 MPa 이상	-	-	KS F 2343	0. 42	0. 45	0. 42	0. 43	0. 5	0. 47
액상 한계(%)	<50%	-	<40%	KS F 2303, ASTM D 4318	NP	NP	NP	NP	NP	NP
소성지수(%)	-	-	7-30%		NP	NP	NP	NP	NP	NP
소성한계(%)	<25%	-	-		NP	NP	NP	NP	NP	NP
200mm(0.075 mm) 체 통과율(%)	-	<50%	>35%	KS F 2301, 2309 ASTM D 1140	37	36	40	36	39	43
투수계수 (cm/sec)	<10 <sup>-6</sup> (45 cm 성토시)	-	<10 <sup>-5</sup> cm/s (15 cm 성토시)	KS F 2322, ASTM D 5084	0. 2* 10 <sup>-7</sup>	0. 1* 10 <sup>-7</sup>	0. 1* 10 <sup>-7</sup>	0. 1* 10 <sup>-7</sup>	0. 1* 10 <sup>-7</sup>	0. 1* 10 <sup>-7</sup>
전기전도도	-	<200 mS/m	-	JGS 0212	92	59	25	63	81	86
pH	<12.4	6 ~ 9	-	KS F 2103, ASTM D 4972	7. 0	7. 2	7. 0	7. 0	7. 0	7. 0
수분함량(%)	-	-	-	KS F 2312, ASTM D 2216	17	15	12	10	18	13
이물질 함량(%) (유기이물질)	1.0 이하(용적)	-	-	KS F 2576	0	0	0	0	0	0
유기물 함량(%)	-	-	-	SSSA-3	37	42	30	3 1. 5	43	21
암모니아 발생량 (ppm, 양생 후 조 성물 표면)	-	-	NIOSH Immediately Dangerous To Life or Health Concentration (300 ppm)	-	8	2	1	7	5	4

H <sub>2</sub> S 발생량 (ppm, 양생 후 조 성물 표면)	-	-	NIOSH Immediately Dangerous To Life or Health Concentration (100 ppm)	-	0	0	0	0	0	0
염화물 함량(mg/mg)	-	<1 mg/mg	-	JGS 0241	0	0	0	0	0	0

표 4

[0072]

시험항목(단위 : mg/L)	기준치	US EPA PQL (pract ical quanti tation limi t), mg/L	일본 토양 오염 대책 법시 행규 칙 제24 조 및 동규 칙별 표4 (mg/ L)	시험방법 (폐기물공정시험기준 : 2011)					
				실시예1	실시예2	실시예3	실시예4	실시예5	실시예6
Pb	3	0.4	0.3	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
As	1.5	0.01	0.3	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Hg	0.005	0.002	0.005	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cd	0.3	0.001	0.3	0.0001	0.0004	N.D	N.D	0.0003	0.0003
Cr <sup>6+</sup>	1.5	0.02	1.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
CN <sup>-</sup>	1	0.2	1	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
유기인	1	-	1	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
테트라클로로에틸렌	0.3	0.0005	0.1	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
트리클로로에틸렌	0.1	0.001	0.3	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
기름성분(단위 : %)	5%	-	-	0.01	N.D	0.02	0.05	0.03	0.01

표 5

[0073]

시험항목(단위 : mg/kg)	기준치	CB TEC (Consensus Based Threshold Effect Concentratio n)	시험방법(제2지역 : 토양오염시험기준 : 2011)					
			실시예1	실시예2	실시예3	실시예4	실시예5	실시예6
Cd	10	0.99	0.013	0.038	0.01	0.001	0.026	0.027
Cu	500	31.6	0.07	0.05	0.37	0.16	0.38	0.03
As	50	9.79	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Hg	10	0.18	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Pb	400	35.8	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cr <sup>6+</sup>	15	43.4	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Zn	600	121	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Ni	200	22.7	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
F <sup>-</sup>	400	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
유기인	10	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
PCBs	4	0.35	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
CN <sup>-</sup>	2	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

페놀	4	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
벤젠	1	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
톨루엔	20	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
에틸벤젠	50	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
크실렌	15	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
석유계총탄화수소(TPH)	800	1.19~4.61	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
트리클로로에틸렌	8	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
테트라클로에틸렌	4	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

[0074] 비교 실험예

[0075] 상기 표 2의 조성으로 인공토양을 제조한 비교예 1~6의 인공토양에 대해 물성시험을 실시하였다. 실험은 국토해양부에서 제정한 순환골재 품질기준과 폐기물관리법에서 규정한 지정폐기물 함유 유해물질 용출기준, 토양환경보전법 시행규칙에 따라 시행하였으며, 그 결과는 각각 다음 표 6 내지 표 8에 나타내었다.

표 6

[0076]

구분	흙쌓기의 최상부면으로부터 100cm 이상의 하부 (국토해양부 순환골재 품질기준(2009.8), 폐기물관리법, 토목공사 표준일반시방서)	일본 국토교통성	US EPA (Resource Conservation & Recovery Act) RCRA Subtitle D (40 CFR § 258) 및 US ECOS(Environmental Council of the States) ITRC	시험방법	비교예1	비교예2	비교예3	비교예4	비교예5	비교예6
Cone index	-	>400 kN/m <sup>2</sup>	-	JIS A 1228	375	149	227	318	382	386
수정 CBR(지방다짐)	2.5 이상	-	-	KS F 2320	10.1	11.1	10.0	11.3	11.9	10.8
CBR(수침팽창시험)	-	<3%	-	KS F 2320	3	5	9	6	7	5
다짐후 건조밀도 (t/m <sup>3</sup> )	1.5 이상	-	-	KS F 2312, ASTM D 1557	1.5	1.4	1.5	1.4	1.6	1.1
일축압축강도(MPa)	0.1 MPa 이상	-	-	KS F 2343	0.22	0.15	0.32	0.10	0.12	0.11
액상 한계(%)	<50%	-	<40%	KS F 2303,	NP	NP	NP	NP	NP	NP
소성지수(%)	-	-	7~30%	ASTM D 4318	NP	NP	NP	NP	NP	NP
소성한계(%)	<25%	-	-		NP	NP	NP	NP	NP	NP
200mm(0.075 mm) 체 통과율(%)	-	<50%	>35%	KS F 2301, 2309, ASTM D 1140	37	36	40	35	39	43
투수계수 (cm/sec)	<10 <sup>-6</sup> (45 cm 성토시)	-	<10 <sup>-5</sup> cm/s (15 cm 성토시)	KS F 2322, ASTM D 5084	1.0*10 <sup>-4</sup>	0.5*10 <sup>-3</sup>	0.8*10 <sup>-4</sup>	0.2*10 <sup>-4</sup>	2.0*10 <sup>-2</sup>	2.7*10 <sup>-2</sup>
전기전도도	-	<200 mS/m	-	JGS 0212	263	219	285	293	227	274
pH	<12.4	6 ~ 9	-	KS F 2103, ASTM D 4972	7.0	7.0	6.5	5.3	7.0	5.0

수분함량(%)	-	-	-	KS F 2312, ASTM D 2216	7	45	42	40	48	43
이물질 함량(%) (유기이물질)	1.0 이하(용적)	-	-	KS F 2576	0	0	0	0	0	0
유기물 함량(%)	-	-	-	SSSA-3	30	32	35	34	25	35
암모니아 발생량 (ppm, 양생 후 조 성물 표면)	-	-	NIOSH Immediately Dangerous To Life or Health Concentration (300 ppm)	-	119	176	139	182	302	400
H <sub>2</sub> S 발생량 (ppm, 양생 후 조 성물 표면)	-	-	NIOSH Immediately Dangerous To Life or Health Concentration (100 ppm)	-	0	0	20	15	24	150
염화물 함량(mg/mg)	-	<1 mg/mg	-	JGS 0241	0	0	0	0	0	0

표 7

[0077]

시험항목(단위 : mg/L)	기준치	US EPA PQL (practical quantitation limit), mg/L	일본 토양 오염 대책 법시 행규 칙 제24 조 및 동규 칙별 표4 (mg/ L)	시험방법 (폐기물공정시험기준 : 2011)					
				비교예1	비교예2	비교예3	비교예4	비교예5	비교예6
Pb	3	0.4	0.3	0.6	0.3	0.5	0.3	0.4	0.6
As	1.5	0.01	0.3	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Hg	0.005	0.002	0.005	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cd	0.3	0.001	0.3	0.07	0.03	0.09	0.3	0.3	1
Cr <sup>6+</sup>	1.5	0.02	1.5	0.02	0.02	0.02	0.9	1	18
CN <sup>-</sup>	1	0.2	1	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
유기인	1	-	1	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
테트라클로로에틸렌	0.3	0.0005	0.1	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
트리클로로에틸렌	0.1	0.001	0.3	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
기름성분(단위 : %)	5%	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

표 8

[0078]

시험항목(단위 : mg/kg)	기준치	CB TEC (Consensus Based Threshold Effect Concentration)	시험방법(제2지역 : 토양오염시험기준 : 2011)					
			비교예1	비교예2	비교예3	비교예4	비교예5	비교예6
Cd	10	0.99	0.4	0.8	1	1.9	1.63	3.18
Cu	500	31.6	20	31	26	39	92	66

As	50	9.79	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Hg	10	0.18	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Pb	400	35.8	23	68	88	26	97	92
Cr6+	15	43.4	28	37	47	30	24	82
Zn	600	121	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Ni	200	22.7	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
F-	400	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
유기인	10	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
PCBs	4	0.35	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
CN-	2	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
페놀	4	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
벤젠	1	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
톨루엔	20	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
에틸벤젠	50	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
크실렌	15	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
석유계총탄화수소(TPH)	800	1.19~4.61	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
트리클로로에틸렌	8	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
테트라클로로에틸렌	4	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

[0079] 상기 표 3 내지 표 8의 결과를 살펴보면, 본 발명의 실시예에 따라 제조된 인공토양의 경우 순환 골재의 품질 기준(표 3), 중금속용출시험(표 4), 토양오염우려기준 시험(표 5) 결과 모두 기준치 이내이고, 미국 EPA의 음용수 및 일본 국토교통성의 토양오염 기준치를 통과하였다. 또한 비교예의 실험결과(표 6 내지 표 8)에 비해 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있다.

[0080] 따라서 상기 본 발명의 방법에 따라 제조된 폐자원의 고화에 의한 인공토양은 매립시설의 성토용으로 바람직하게 활용될 수 있으며, 그 외에도 자연상태의 양질의 토사와 혼용하여 매립시설 내 제한된 지역의 토지개량제로 활용할 수 있는 것으로 확인되었다.