



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0128692
(43) 공개일자 2016년11월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B09C 1/08 (2006.01) B09C 1/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B09C 1/08 (2013.01)
B09C 1/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0060437
(22) 출원일자 2015년04월29일
심사청구일자 2015년04월29일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
김민석
경기도 고양시 일산동구 햇살로95번길 56-1
김정규
서울특별시 성북구 보문로29다길 31, 124동 401호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
한양특허법인

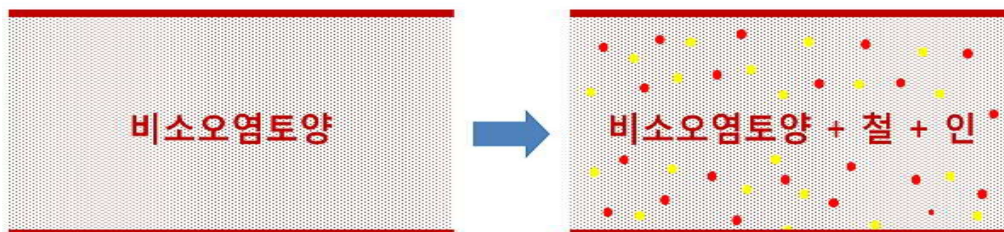
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **철과 인을 사용한 비소 오염 토양의 복원방법**

(57) 요약

본 발명은 철과 인을 사용한 비소 오염 토양의 복원방법에 관한 것이다. 본 발명의 비소 오염 토양의 복원방법은 철을 이용하여 토양 내 비소를 안정화시키고 식물 초기 뿌리 활착에 중요한 인을 이용하여 식생의 재도입을 촉진 함으로써, 인공적으로 조성한 오염 토양을 대상으로 한 연구실의 실험규모에서가 아닌 실제 비소 오염 토양에 대 해 진정한 의미로 토양 복원을 달성할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류
B09C 2101/00 (2013.01)

이병주
서울특별시 용산구 대사관로34길 31-8

(72) 발명자
민현기
서울특별시 중구 청계천로 400, 102동 3007호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2014014218
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 (이공)일반연구자-기본
연구과제명 비소와 인의 흡착특성에 기초한 비소오염토양 재식생 도입 연구
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교
연구기간 2014.05.01 ~ 2015.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

비소로 오염된 토양에 인 및 철을 처리하는 단계를 포함하며,
상기 비소로 오염된 토양에서의 비소 농도는 1200 내지 2400mg/kg이고,
상기 인의 처리 농도는 토양에 대하여 0.098 내지 0.528 g/kg이며,
상기 철의 처리 농도는 토양에 대하여 0.165 내지 0.952 g/kg인 것을 특징으로 하는, 비소 오염 토양의 복원방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 인과 철의 중량비는 1:1 내지 1:6인 것을 특징으로 하는, 비소 오염 토양의 복원방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 비소로 오염된 토양에는 알루미늄, 철 및 망간이 포함되어 있는 것인, 비소 오염 토양의 복원방법.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 비소로 오염된 토양의 pH는 5 내지 9이고, 전기전도도는 0.5 내지 2.0 $\text{ds} \cdot \text{m}^{-1}$ 인 것을 특징으로 하는, 비소 오염 토양의 복원방법.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 철은 영가철 (Zero-valent iron)인 것을 특징으로 하는, 비소 오염 토양의 복원방법.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 인 및 철을 처리하는 단계 후에, 토양에 증류수를 공급한 후 4 내지 8 주간 에이징(aging)을 진행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 비소 오염 토양의 복원방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 철과 인을 사용한 비소 오염 토양의 복원방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 토양 내 비소는 인간과 유기체에 미치는 높은 독성으로 환경적으로 중요한 문제이며, 인간의 여러 활동(광업, 제련, 제초, 목재 보존제, 산업폐기물)에 의하여 자연적으로 토양에 존재하는 양보다 매우 높게 초과하여 나타나고 있다. 비소로 고농도로 오염된 토양으로부터 오염된 지하수와 식물의 섭취 경로로 인간이 비소에 노출되며, 장기간 노출 시 각종 질병을 유발하게 된다.

[0003] 비소 오염토양의 처리 방법은 토양 세척, 전기동력학적 기술 적용, 열탈착, 고정화/안정화 방법 등이 있다. 여

러 방법들 중에서 고정화/안정화 방법으로 토양 내에서 비소의 이동성 (Mobility)과 생물유효도 (Bioavailability)를 저감시키는 것이 주 목적이다. 토양 내 비소를 안정화 시킬 수 있는 가장 잘 알려진 기작은 흡착(Adsorption)으로 점토, 유기물, Fe/Al/Mn 산화물 등의 표면에 비소가 결합함으로써 비소의 이동성이 저감된다 (대한민국 공개특허 2006-0003161호).

[0004] 최근의 비소 오염토양 처리는 토양 환경의 진정한 복원 (Restoration)을 위하여 비소의 안정화뿐만 아니라 재식생 (Revegetation)까지 포함하며 그에 대한 필요성이 중요시되고 있는 실정이다.

[0005] 재식생에 중요한 식물의 초기 활착에는 표토와 양분이 주요 제한인자로 작용하고 있다. 그러나 오염토양 또는 1차적으로 안정화 처리된 토양의 경우 일반적으로 토양의 이화학성이 불량하고 양분이 부족하여 식생의 직접적인 도입에 어려움이 따르고 있다. 따라서 비소 오염 토양에서 비소를 효과적으로 안정화시키는 것과 동시에 원활한 재식생 목표를 동시에 달성하기 위한 기술의 개발 필요성이 시급한 상황이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 2006-0003161호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 비소를 안정화시킴과 동시에 재식생을 원활하게 하는 비소 오염 토양의 복원방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하고자, 본 발명은 비소로 오염된 토양에 인 및 철을 처리하는 단계를 포함하는 비소 오염 토양의 복원방법을 제공한다.

[0009] 본 발명의 일 구현예는 비소로 오염된 토양에서의 비소 농도가 1200 내지 2400 mg/kg이며, 인의 처리 농도는 토양에 대하여 0.098 내지 0.528 g/kg이고, 상기 철의 처리 농도는 토양에 대하여 0.165 내지 0.952 g/kg인 것일 수 있다.

[0010] 다른 일 구현예는 비소로 오염된 토양에 알루미늄, 철 및 망간이 포함되어 있는 것일 수 있다.

[0011] 또 다른 일 구현예는 비소로 오염된 토양의 pH는 5 내지 9이고, 전기전도도는 0.5 내지 2.0 $\text{ds} \cdot \text{m}^{-1}$ 인 것일 수 있다.

[0012] 또 다른 일 구현예는 철이 영가철(Zero-valent iron)인 것일 수 있다.

[0013] 또 다른 일 구현예는 인 및 철을 처리하는 단계 후에, 토양에 증류수를 공급한 후 4 내지 8 주간 에이징(aging)을 진행하는 단계를 더 포함하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0014] 본 발명의 비소 오염 토양의 복원방법은 철을 이용하여 토양 내 비소를 안정화시키고 식물 초기 뿌리 활착에 중요한 인을 이용하여 식생의 재도입을 촉진함으로써, 인공적으로 조성한 오염 토양을 대상으로 한 연구실의 실험 규모에서가 아닌 실제 비소 오염 토양에 대해 진정한 의미로 토양 복원을 달성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명에 따른 복원방법의 순차도를 나타낸 것이다.

도 2는 본 발명에 따른 복원방법의 토양 안정화 방법을 구현한 상태를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 본 발명은 철과 인을 사용한 비소 오염 토양의 복원방법에 관한 것으로, 구체적으로 철과 인을 비소 오염 토양에 동시에 처리하여 비소를 안정화시키고 재식생을 원활하게 함으로써 비소 오염 토양을 복원할 수 있는 방법에 관한 것이다.
- [0017] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0018] 본 발명은 비소로 오염된 토양에 인 및 철을 처리하는 단계를 포함하는 비소 오염 토양의 복원방법을 제공한다.
- [0019] 상기 철은 비소를 철에 흡착시켜 식물 피해를 감소시키며, 인의 처리는 식물의 뿌리 발달을 촉진시키고, 상기 토양에 인 및 철을 동시에 처리함에 따라, 인만 단독으로 처리할 때와 비교하여 비소의 유효도가 많이 감소하여 비소의 안정화 효과를 피할 수 있다. 따라서, 상기 복원발명은 기존에 2차 오염 유발 가능성과 복원공법 적용 이후 식생 도입에 부적합했던 종래기술의 문제점을 해결하면서, 최종적으로 오염물질의 제어뿐만 아니라 식생 재도입을 촉진함으로써 진정한 의미의 토양 복원을 달성할 수 있다.
- [0020] 본 발명은 인 및 철을 이용한 비소 이동성 및 유효도를 감소시키는 안정화 방법으로서, 환경 위해성을 저감시키는 것이 특징이다.
- [0021] 상기 비소로 오염된 토양은 비소를 인위적으로 주입한 인공 토양이 아닌 실제 자연적으로 오염된 토양을 의미하며, 상기 토양에서의 비소 농도는 1200 내지 2400 mg/kg일 수 있다. 상기 범위의 비소 농도로 오염된 토양은 토양환경보전법상 3지역의 비소항목에 대해 대책기준(600 mg/kg)을 2 내지 4 배로 초과하는 고농도로 오염된 지역이다.
- [0022] 또한, 상기 비소로 오염된 토양은 실제 자연적으로 오염된 토양임에 따라 알루미늄, 철 및 망간을 포함할 수 있으며, 상기 토양의 pH는 5 내지 9일 수 있으며, 상기 토양의 전기전도도는 0.5 내지 2.0 $\text{ds} \cdot \text{m}^{-1}$ 일 수 있다.
- [0023] 상기 인의 처리 농도는 토양에 대하여 0.098 내지 0.528 g/kg일 수 있는데, 상기 범위의 농도로 처리 되는 경우 비소의 유효도 저감 및 식물의 생육 측면에서 바람직하며, 상기 범위를 초과할 경우 다량의 염에 의한 염스트레스와 수분스트레스를 야기할 수 있고, 상기 범위 미만일 경우 인의 처리 효과를 기대할 수 가 없다.
- [0024] 상기 철의 처리 농도는 토양에 대하여 0.165 내지 0.952 g/kg일 수 있는데, 상기 상기 범위의 농도로 처리 되는 경우 비소의 유효도 저감 및 식물의 생육 측면에서 바람직하며, 상기 범위를 초과할 경우 다량의 염에 의한 염스트레스와 수분스트레스를 야기할 수 있고, 상기 범위 미만일 경우 철의 처리 효과를 기대할 수 가 없다.
- [0025] 상기 인과 철의 중량비는 1:1 내지 1:6인 것이 바람직하다. 상기 인과 철의 중량비가 상기 범위 내에 있는 경우 비소의 유효도 저감 및 식물의 생육 측면에서 바람직하다.
- [0026] 상기 철은 영가철 (Zero-valent iron)인 것이 바람직하다. 영가철의 경우 비소의 흡착 및 제거율이 높을 뿐만 아니라, 철의 염(salt) 상태의 재료들 (예컨대 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, FeSO_4 등)과 달리 pH 조건이 토양 적용에 가능한 이점이 있다.
- [0027] 상기 인은 인산수소나트륨(Na_2HPO_4)이 바람직하다.
- [0028] 상기 인 및 철을 처리하는 단계 후에, 토양에 증류수를 공급한 후 4 내지 8 주간 에이징(aging)을 진행하는 단계를 더 포함하는 것일 수 있다. 토양으로부터 외부 물질 투여는 여러 다양한 화학반응을 야기하며, 안정화까지 최소 4주간이 소요되는 것이 일반적이며, 4주 내지 8주간 에이징을 진행하는 경우 평형상태, 안정상태에 이르게 된다.
- [0029] 이하, 본 발명을 실시예를 이용하여 더욱 상세하게 설명한다. 그러나 하기 실시예는 본 발명을 예시하기 위한 것으로서, 본 발명은 하기 실시예에 의해 한정되지 않고 다양하게 수정 및 변경될 수 있다.

[0030] 실시예 1. 실험 준비

[0031] 1-1. 비소 오염 토양의 준비

[0032] 비소 오염 토양은 강원도 정선에 위치한 강원광산 인근의 토양을 채취하여 풍건 시킨 후 2 mm 체에 걸러 실험에 사용하였다. 비소 오염 토양의 기본 화학적 특성을 확인하기 위하여 토양과 증류수를 1:5 비율로 교반하여 pH-EC meter (Thermo Orion 920A)로 측정한 결과 pH는 8.41로 약알칼리성을 나타내었고, 전기전도도는 $0.76 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$ 을 나타내었다. 토양 내 비소의 농도는 왕수 (Aqua regia)를 이용하여 측정하였고, 그 결과 오염이 매우 심각한 1,854 mg/kg를 나타내었다. 또한, Oxalate 침출태의 알루미늄, 철, 망간의 농도는 암모늄 초산법으로 측정하였으며 각각 1.18, 13.4, 2.0 mg/kg로 나타내었다.

[0033] 1-2. 철과 인의 준비

[0034] 철(영가철; Fe^0 , Zero-valent iron)과 인(Na_2HPO_4)은 Sigma-Aldrich에서 구입하여 준비하였다.

[0035] 영가철(Fe^0)은 2 mg/L의 비소 용액에 흡착실험을 하였을 때, 표 1에 기재된 바와 같이 영가철(Fe^0)이 비소의 흡착 및 제거율이 높아 선정하였으며, 비소의 철에 대한 흡착량은 하기 수학적 식 1에 따라 계산하였다.

[0036] [수학적 식 1]

[0037]
$$C_s = \frac{(C_i - C_e)}{w} \times V$$

[0038] C_s : 비소 흡착량 (mg/kg)

[0039] C_i : 초기 비소 농도 (mg/L)

[0040] C_e : 흡착반응 후 비소 농도 (mg/L)

[0041] w: 흡착제 무게 (g)

[0042] V: 비소 용액의 부피 (mL)

표 1

[0043]

구분	pH	EC	RE	C_s
비처리군	4.93	6.13	18	2.78
Fe^0	4.94	6.53	98	14.91
FeO	5.87	4.83	25	3.78
Fe_2O_3	5.23	3.98	17	2.52
FeOOH	5.37	5.08	68	10.29
FeCl_3	2.01	0.39	97	14.65
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	2.06	0.85	95	14.36
FeSO_4	2.58	0.37	95	14.44
EC: Electrical conductivity (ms m^{-1}) RE: Removal efficiency (%) C_s : Sorbed concentration (mg/kg)				

[0044] 실시예 2. 비소 오염 토양에 인과 철의 처리

[0045] 2-1. 인과 철의 처리

[0046] 반응표면분석 방법을 활용하여 실험구를 설계하였다. 구체적으로, 하기 표 2에 기재된 바와 같이, -독립변수로 인(X_1)과 철(X_2)의 처리 농도를 각각 5단계 (-1.41, -1, 0, 1, 1.41)로 코드화하여 총 11구간으로 설정하여 처

리하였다. 철과 인을 각각의 농도로 처리한 토양은 토양의 수분 보유력의 60% 수준의 증류수를 공급해주어 4 주간의 에이징(aging)을 거친 후 비소와 인의 화학적 유효도 검증 실험과 상추를 이용한 식물독성 평가에 사용하였으며 그 실험 결과를 종속 변수로 하여 나타내었다.

표 2

구분	코드 값		실제 값 (g/kg)		종속변수				
	인 농도	철 농도	인 농도	철 농도	뿌리길이 (mm/개)	뿌리비소 (mg/g)	지상부 비소 (mg/kg)	뿌리 인 (mg/g)	지상부 인 (mg/g)
#1	-1	-1	0.155	0.279	26.0	0.62	25	9.8	8.6
#2	-1	1	0.155	0.838	29.2	0.45	22	7.6	7.2
#3	1	-1	0.465	0.279	26.1	0.43	18	24.6	12.1
#4	1	1	0.465	0.838	30.0	0.43	45	27.3	16.2
#5	0	-1.41	0.310	0.165	28.4	0.46	36	19.6	13.1
#6	0	1.41	0.310	0.952	25.8	0.45	16	13.0	10.0
#7	-1.41	0	0.091	0.559	25.7	0.59	18	6.2	7.1
#8	1.41	0	0.528	0.559	32.2	0.48	22	11.9	9.9
#9	0	0	0.310	0.559	29.6	0.44	23	15.2	11.1
#10	0	0	0.310	0.559	27.4	0.46	24	14.6	12.0
#11	0	0	0.310	0.559	36.8	0.41	26	19.8	11.4

2-2. 식물 독성 평가

재식성 증진 확인을 위해 식물 독성 평가는 OECD 기준에 준하여 상추(*Lactuca sativa* L.)를 사용하여 진행하였다. 에이징(Aging)이 종료된 토양 40 g을 100 mm x 20 mm 규격의 플라스틱 Petri-dishes에 넣고 상추 종자 12개를 각각 파종하여 토양 수분보유력의 60% 수준으로 수분함량을 조절하여 식물 생장 챔버 (Growth chamber)에서 4주간 재배하였다. 식물의 재배 조건은 명주기 16시간, 암주기 8시간으로 하여 온도는 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 유지하여 주었다. 4주간의 재배가 종료된 이후 수확한 상추의 뿌리 생장 길이의 측정을 위해 이미지 분석 프로그램 (WinRhizo 5.0a, Regent, Canada)를 이용하였다. 길이 측정이 완료된 식물 시료는 70°C 의 드라이-오븐(dry-oven)에서 48시간 건조시킨 후 비소와 인의 농도 분석에 사용하였다. 상추의 뿌리 내 비소 농도, 지상부 내 비소 농도, 뿌리 내 인 농도, 지상부 내 인 농도를 각각 측정하였다. 각 부위의 시료를 진한 HNO_3 와 H_2O_2 를 이용하여 140°C 의 모래중탕기(Sand bath)에서 습식 분해하였으며 필터를 한 후 여액 내 비소의 농도는 유도결합플라즈마 흡광광도계 (ICP-OES, Induced Coupled Plasma - Optical Emission Spectrophotometer)로 측정하였다. 인의 농도 역시 상기의 방법과 동일하게 측정하였으며, 이를 상기 표 2에 나타내었다.

2-3. 상추의 뿌리 길이 변화

상기 실시예 2-2에 따라 재배된 상추의 뿌리 길이를 다중회귀분석을 통해 실시하여 상기 표 2에 나타내었으며, 상추의 뿌리 길이에 대한 관계식은 하기 수학식 2와 같다.

[수학식 2]

상추의 뿌리 길이 (mm seedling^{-1}) = $28.40 + 2.18 \times A$

A: 토양에 처리한 인 부호 수준

상기 표 2에 나타난 바와 같이, 식물 생장의 필수 양분인 인이 상추 뿌리 길이에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 철의 처리는 토양 내 비소를 안정화하여 비소의 이동성과 생물유효도를 저감시킴으로써 식물뿌리 생장에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단되나 인의 직접적인 양분 공급 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 상기 실험은 기존의 인공토양에서 더 나아가 실제 비소 오염 토양에서 진행되어 현장 반응률이 높다는 것에 의의가 있다.

[0056] 2-4. 상추의 비소와 인의 흡수량 변화

[0057] 철과 인을 비소오염 토양에 여러 수준으로 처리하고 상추를 단기 재배하였을 때 상추의 뿌리와 지상부가 흡수하고 축적한 인과 비소의 농도를 측정하여 상기 표 1로 나타내었다. 그리고 각 결과 인자들 간의 상관관계를 Pearson's 상관계수를 계산하여 하기 표 3에 나타내었다.

표 3

[0058]

구분	뿌리길이	뿌리비소	지상부비소	뿌리 인	지상부 인	뿌리 생중량	지상부 생중량
인 처리량	0.3883	-0.5918	0.2926	-0.7049*	-0.6892*	0.5632	0.6485*
철 처리량	0.0737	-0.3293	-0.0538	-0.1466	-0.0721	0.4926	0.5114
뿌리 비소	-0.4698		-0.2056	0.6434*	-0.5745	-0.7675**	-0.7296*
지상부 비소	0.3649			0.5986	-0.7460**	-0.1049	0.4253
뿌리 인	0.3068				-0.9251***	0.3219	0.5497

*, **, ***는 각각 $p < 0.05$, 0.01 , 0.001 수준을 의미한다.

[0059] 표 3에 나타난 바와 같이, 뿌리 내 비소 흡수량이 많을수록 뿌리의 길이 생장은 저해($r = -0.4698$)를 받았다. 비소는 대표적인 준금속으로 생물체 내에 다량으로 존재할 경우 활성산소 생성에 따른 산화적 스트레스로 생물체의 정상적인 생장을 방해하는 사실과 매우 부합하는 결과가 나타났다.

[0060] 뿌리 내 비소의 흡수량은 인($r = -0.5918$)과 철($r = -0.3293$)을 처리하면서 감소하였다. 실제 토양환경에서 비소와 인은 유사한 화학구조와 거동을 나타내며 따라서 식물체 뿌리에서 흡수되는 경로를 놓고 경쟁하는 관계에 있기 때문에 인의 처리는 뿌리로 흡수되는 비소의 양을 감소시켰다. 그리고 철의 처리는 토양 내 비소를 흡착하여 비소의 이동성과 생물유효도를 저감시킴으로써 뿌리로의 흡수량을 저감시켰다.

[0061] 인의 처리는 상추 뿌리의 인 흡수량을 증가시켰으나($r = 0.7049$) 철을 처리할 경우 철이 토양 내 인을 흡착하여 그 흡수량을 저해하였다($r = -0.1466$). 또한, 인은 상추의 뿌리($r = 0.5632$)와 지상부($r = 0.6485$)의 생중량을 증가시켰으며 철 역시 상추의 뿌리($r = 0.4926$)와 지상부($r = 0.5114$)의 생중량도 증가시켰다.

[0062] 실시예 3. 비소 오염 토양에 인과 철의 처리를 통한 시너지 효과(synergy effect) 분석

[0063] 인과 철을 동시에 처리하였을 때와 인만 단독으로 처리하였을 때의 비소와 인의 유효도 변화를 확인하기 위하여 화학적 단일 침출 실험을 진행하였다.

[0064] 구체적으로 하기 표 4 및 표 5와 같이 처리한 후, 토양의 수분 보유력의 60% 수준의 증류수를 공급해주어 4 주간의 에이징(aging)을 거치고, 에이징(aging)이 완료된 풍건 토양 1g과 증류수 20 mL을 섞고 1시간 교반 및 필터링한 후 여액에 존재하는 수용성의 비소와 인의 농도를 유도결합플라즈마 흡광광도계로 측정하였으며, 그 결과 역시 표 4 및 표 5에 나타내었다.

표 4

[0065]

구분	유효도(g/kg)		WS-As	WS-P
	P	Fe	mg/kg	mg/kg
T21	0.155	0	19±0.8	47±3.9
T23	0.465	0	40±1.1	346±19.1
T25	0.310	0	33±0.9	148±11.8
T27	0.091	0	11±0.6	16±1.4
T28	0.528	0	44±0.4	382±13.5

WS-As: Water soluble As extracted by deionized water;
WS-P: Water soluble P extracted by deionized water

표 5

[0066]

구분	유효도 (g/kg)		WS-As	WS-P
	P	Fe	mg/kg	mg/kg

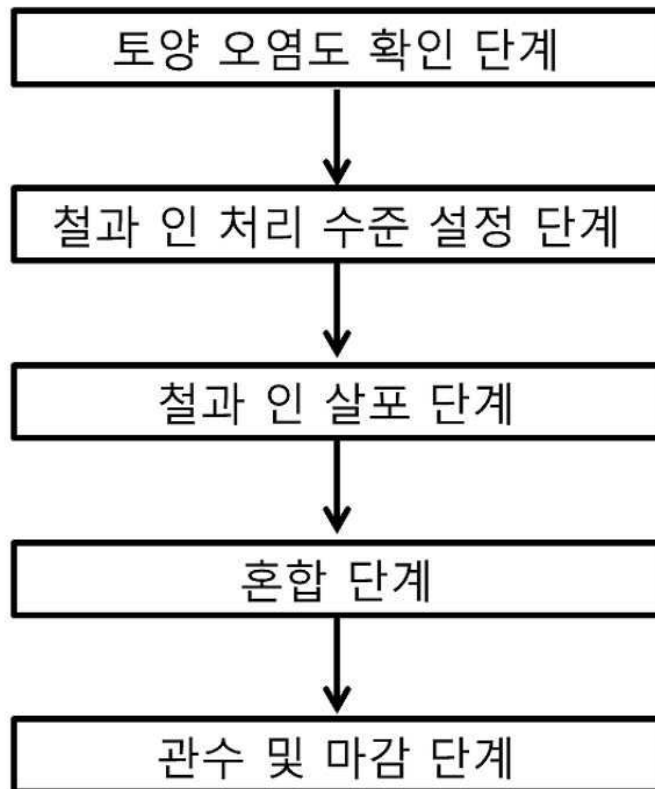
T1	0.155	0.279	11.29 ± 0.59	29 ± 2.9
T3	0.465	0.279	19.71 ± 1.29	286 ± 47.4
T5	0.310	0.165	15.54 ± 0.79	126 ± 11.8
T7	0.091	0.559	5.47 ± 0.24	14 ± 1.1
T8	0.528	0.559	10.41 ± 0.88	59 ± 6.3
WS-As: Water soluble As extracted by deionized water;				
WS-P: water soluble P extracted by deionized water				

[0067]

표 4 및 표 5에 나타난 바와 같이, 인만 단독으로 처리할 때보다 인과 철을 동시에 처리하였을 때 비소의 유효도가 감소하여 비소의 안정화 효과를 확인할 수 있었다. 또한, 철을 같이 처리할 때 비소뿐만 아니라 인도 철에 흡착되어 유효도가 감소하였으나 식물이 유용하게 이용하는 것에는 무리가 없는 수준을 보였다.

도면

도면1



도면2

