

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2010-0013782 (43) 공개일자 2010년02월10일
(51) Int. Cl. <i>C09K 17/06</i> (2006.01) (21) 출원번호 10-2008-0075455 (22) 출원일자 2008년08월01일 심사청구일자 2008년08월01일	(71) 출원인 경상대학교산학협력단 경상남도 진주시 가좌동 900 (72) 발명자 김필주 경남 진주시 가좌동 주공 그린빌 아파트 101동 501호 유찬 경남 진주시 평거동 들말한보아파트 108동 1203호 (74) 대리인 권오식, 박창희, 김종관	

전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 알칼리도를 개선시킨 굴 폐각과 제강슬래그를 이용한중금속 오염토양의 복원용 토양개량제 제조와 이를 이용한중금속 오염토양의 복원방법

(57) 요약

본 발명은 알칼리도가 개선된 굴 폐각 분말과 제강슬래그를 혼합하여 토양 내 중금속을 부동화할 수 있는 토양개량제를 제조하고 이를 이용한 중금속오염토양의 복원방법에 관한 것이다. 구체적으로 본 발명은 굴 폐각의 유기적 특성 및 알칼리도 개선을 위하여 생석회(CaO) 또는 고토(MgO)를 첨가하고 열처리하여 개선된 굴 폐각과 철강의 제조과정에서 생성되는 제강 슬래그를 균일하게 혼합한 혼합물을 이용한 토양개량제이다. 상기 토양개량제는 토양 내 양이온과 음이온성 중금속이 함께 오염된 복합 악성오염지를 양질의 토양으로 효과적으로 복원하고, 중금속 오염지에 1-50톤/ha을 사용할 경우 작물의 생육과 수량을 증진과 식물의 중금속 흡수량을 저감하여 안전한 농산물의 생산할 수 있으며, 굴 폐각의 처리문제 해결과 그에 따른 비용절감 효과 및 자원재활용을 통한 자원 유효성을 높일 수 있어 자연환경의 오염을 방지할 수 있다.

(72) 발명자

홍창오

경남 고성군 고성읍 송학리 영생아파트 나동 107호

김상윤

경남 진주시 신안동 26-30 신안리치빌 301호

박종록

부산시 동래구 온천3동 1422-19번지 (주)지산개발

황기출

경기도 가평군 가평읍 형진 APT 508호

특허청구의 범위

청구항 1

알칼리도가 개선된 굴 폐각과 슬래그를 1 : 9 ~ 9 : 1 의 무게비로 혼합되는 토양개량제.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 알칼리도가 개선된 굴 폐각은 굴 폐각의 총 중량에 대하여 0.1 내지 30 중량%의 생석회(CaO) 또는 고토(MgO) 중에서 선택되는 어느 하나 이상인 것을 특징으로 하는 토양개량제.

청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 토양개량제는 중금속 오염지에 0.1 내지 50톤/ha 비율로 사용하는 것을 특징으로 하는 토양개량제.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 양이온성 중금속의 부동화 효과를 높이기 위해 알칼리도를 개선시킨 굴 폐각과 제강 슬래그를 혼합하여 복합 오염지 복원용 토양개량제를 제조하고 이를 이용한 중금속오염토양의 복원방법에 관한 것이다. 구체적으로 본 발명은 굴 폐각의 유기물을 제거하고 알칼리도를 개선시키기 위해 생석회 또는 고토를 첨가하고 열처리하여 개선된 굴 폐각 분말과 철강의 제조과정에서 생성되는 제강 슬래그를 균일하게 혼합한 혼합물을 이용한 토양개량제 제조에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 1995-1997년 농촌진흥청을 중심으로 전국의 폐광산 인근 약 1367 ha 농경지를 대상으로 중금속 오염도를 조사한 결과 조사대상의 약 21%(7.7% 대책기준, 13.4% 우려기준)가 중금속 오염지로 알려져 있으며, 2005년 환경부 보고에 따르면 전국에 산재되어 있는 폐금속 광산 938개소 가운데 약 50%인 310개소가 중금속으로 오염된 것으로 보고된바 있다. 지속적 산업발전과 도시화에 따른 중금속 오염토양의 면적은 지속적으로 확대될 것으로 예상되며, 중금속 오염지역에서 중금속 오염 식수와 농작물의 지속적 섭취를 통해 인간에 까지 심각한 중금속 피해가 발생할 수 있어 세심한 관리가 필요한 실정이다.

[0003] 현재까지 토양 내 중금속 부동화 기술은 토양 pH 향상을 통한 중금속 용해도 저감, 유기물과 점토광물 투입을 통한 토양의 중금속 흡착능 증대, 중금속과 상대이온(counter ions)의 반응을 통한 중금속의 침전 유도법 등으로 요약할 수 있다.

[0004] 상기 기술 중 알칼리성 석회제재(lime material) 투입을 통한 토양 pH 향상기술은 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 납(Pb) 등과 같은 양이온성 중금속의 부동화 효과가 우수한 것으로 평가되고 있다.

[0005] 현재 산성토양을 개량하기 위해 사용되고 있는 석회제제는 소석회 석회고토와 석회석 등이 있다. 주요 석회제제의 화학적 특성은 하기 표 1에 나타낸 바와 같다.

[표 1] 주요 석회제제의 화학적 특성

석회제제	주성분	알칼리도 (%)	pH (H ₂ O, 1:5)
소석회	Ca(OH) ₂	60	12.7
석회고토	CaCO ₃ ·MgCO ₃	55	10.3
석회석	CaCO ₃	53	9.6
굴폐각	CaCO ₃	47	9.8

[0006]

[0007]

상기 양이온성 중금속 오염토양의 안정화(stabilization)에 이용되는 석회제제는 알칼리도가 높은 소석회가 주로 이용되고 있다. 그러나 소석회는 석회석을 채광하고 분쇄하여 1000℃ 이상으로 고열 소성하여 생산되기 때문에, 광산을 개발하는 과정 중 산림파괴와 가공과정 중 대기오염물질 등의 발생으로 2차 환경오염을 유발하는 단점을 가지고 있다.

[0008]

그러나 정부의 재정적 지원을 통해 석회석 소석회 및 석회고토가 주로 공급되고 있으며, 경남지역을 중심으로 굴 폐각으로부터 제조된 폐화석이 일부 이용되고 있지만, 상기 굴 폐각은 굴 양식과정 중 폐기물로 발생되고 있고 화학적조성이 석회석(calcite)과 비슷하며 높은 알칼리도(alkalinity)를 가지고 있어 양질의 산성토양개량제로 평가되고 있으나 그 활용도가 매우 낮은 편이다.

[0009]

굴 폐각의 발생량은 1970년대 이후 매년 지속적으로 증가하여 2004년 약 30만톤/년에 달하고 있으나 약 10% 정도가 토양개량제로 재활용되고 있으며, 나머지 40%는 굴 양식장 주변 해안에 무단 방치되고 있어 심한악취와 오수를 발생시키고 있어 심각한 환경문제를 야기하고 있어 처리대책수립이 요구되고 있다. 상기 약 10% 정도가 토양개량제로 재활용 되고 있는 굴 폐각의 이화학적 특성은 하기 표 2에 나타낸 바와 같다.

[표 2] 굴 폐각의 이화학적 특성

알칼리도 (%)	pH (H ₂ O, 1:5)	총 함량 (%)					용적밀도 (g/cm ³)
		CaCO ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	
47.8	9.8	95.9	0.65	0.69	0.42	0.20	1.03

[0010]

[0011]

굴 폐각의 이화학적 특성은 상기 표 2에 나타낸 바와 같이 화학적조성이 석회석(calcite)과 유사하고 높은 알칼리도(alkalinity)를 가지고 있으며, 굴 양식과정 중 발생하는 폐기물이기 때문에 2차 환경오염발생 없이 산성토양을 개량할 수 있는 것으로 평가되고 있다.

[0012]

등록특허공보 제 10-0275586호에서 소개되고 있는 천연무기질을 이용한 토양개량제 및 그 제조방법에는 굴 폐각을 적정온도에서 가열시켜 소성한 다음 이를 직접 토양에 주입하여 토양개량제로 이용하는 토양의 산성화를 막는 방법을 소개하고 있다.

[0013]

상기 토양개량제는 토양 pH 개선시 양이온성 중금속을 효과적으로 부동화하여 토양을 안정화할 수 있는 반면, 비소(As)와 같이 음이온성 중금속의 용해도를 증대시켜 주변 환경에 대한 유해성을 높이는 단점을 가지고 있다.

[0014]

그러나 본 발명에서와 같이 제철소에서 부산물로 배출되는 제강슬래그를 본발명의 알칼리도가 개선된 굴폐각과 혼합하여 토양개량제로 사용하였을 때 놀랍게도 비소(As) 등의 중금속을 매우 효과적으로 부동화하여 본 발명을 완성하였다.

[0015]

국내에서 제철소에서 철을 생산하는 과정 중 부산물로 배출되는 제강슬래그 역시 연간 약 450만 톤 발생되고 있으나, 40 ~ 50%가 도로 성토제 및 연약지반 강화제 등으로 재활용되고 있으며 나머지는 산업폐기물로 매립되고 있는 실정이다.

[표 3] 제강 슬래그의 이화학적 특성

pH (H ₂ O, 1:5)	총 함량 (%)							
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	S	TiO ₂
11.8	14.8	46.1	1.5	16.4	6.3	5.4	0.08	1.5

[0016]

[0017]

중금속 오염토양의 중금속 제거는 그 원인이 무엇인지 명확히 알 수 없지만 표 3에서 보듯이 상기 제강 슬래그의 이화학적 특성은 하기 표 3과 같이 알칼리성으로 다량의 철을 함유하고 있어 음이온성 중금속인 비소 등을 효과적으로 부동화시킬 수 있기 때문에, 굴양식과정 중 발생되고 있는 부산물 굴 폐각과 철강의 제조과정에서 생성되는 폐기물 제강 슬래그의 혼합물을 이용하여 토양 개량제를 제조하고 이를 이용한 중금속오염토양의 복원 방법을 개발하는 것이 절실히 요구되고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0018]

본 발명은 알칼리성 제재로서 토양 내 양이온성 중금속의 부동화 효과가 우수한 굴 폐각과 음이온성 중금속의 부동화 효과가 우수한 제강 슬래그를 혼합하여 복합 중금속을 효과적으로 부동화하여 오염 토양을 복원할 수 있는 토양개량제 제조방법을 제공하고자 한다.

[0019]

또한 본 발명은 이들을 혼합하여 중금속 오염지에 사용할 경우 작물의 생육과 수량을 증진시키고 중금속의 흡수를 크게 저감시켜 안전한 농산물의 생산을 가능하게 하는 토양개량제를 제공하고자 한다.

과제 해결수단

[0020]

본 발명은 굴양식과정 중 발생되고 있는 부산물 굴 폐각과 철강의 제조과정에서 생성되는 폐기물 제강 슬래그의 혼합물을 이용하여 토양 내 중금속 부동화를 위한 기능성 토양개량제 제조와 이를 이용한 중금속오염토양의 복원방법에 관한 것이다.

[0021]

보다 구체적으로는 본 발명은 토양 내 중금속 중 양이온성 중금속의 부동화에 효과가 우수한 굴 폐각과 제강슬래그를 혼합하여 복합 중금속 오염 토양의 복원을 위한 토양개량제를 개발하고자 한다.

[0022]

이하 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다.

[0023]

일반적으로 굴 폐각은 석회성분이 다량 함유되어 있는데, 이러한 석회성분은 질소(N), 인산(P), 칼륨(K)과 더불어 비료의 4요소로 분류될 만큼 그 효용가치가 크다. 특히, 토양의 산성화가 심화됨에 따라 토양개량제로서 알칼리성 석회질 비료를 사용권장하고 있다.

[0024]

따라서 상기 굴 폐각의 구성성분의 대부분을 차지하고 있는 석회성분은 토양개량제의 구성요소로 유용하게 사용할 수 있다.

[0025]

본 발명은 굴 폐각을 분쇄하는 단계, 굴 폐각 내 유기물을 제거하고 알칼리도 개선을 위하여 생석회(CaO) 또는 고토(MgO)를 첨가하여 가공하는 단계, 상기 생석회가 첨가된 굴 폐각과 제강슬래그를 일정비율로 혼합하는 단계를 포함하여 이루어져 있다.

[0026]

즉, 본 발명은 상기 분쇄한 굴 폐각에 생석회 또는 고토를 첨가하여 가공함으로써 알칼리도가 향상된 굴 폐각을 제공하게 되고, 이를 제강 슬래그와 혼합하여 토양 내 중금속 부동화를 위한 기능성 토양개량제를 제공하는데 있다.

[0027]

상기 분쇄단계는 굴 폐각을 입경이 0.1 내지 5mm로 가공하기에 적당한 크기로 분쇄하고, 생석회(CaO)나 고토(MgO)를 굴 폐각의 총 중량에 대하여 0.1 내지 30 중량%를 혼합하여 300~500℃로 5~20분 열처리하여 사용하며, 더욱 바람직하게는 5 중량%로 사용하는 게 바람직하다.

[0028]

상기 생석회나 고토는 열처리과정 중 굴 폐각의 미분해 유기물을 분해시키고 동시에 알칼리도를 개선시켜 산성 토양의 pH를 증가시키고 양이온성 중금속을 효과적으로 부동화하여 오염 토양을 안전화시킬 수 있다.

[0029]

상기 제강슬래그는 해수, 담수 및 하천 또는 해양퇴적토에 오염된 영양염과 황화수소 등을 제거, 정화할 수 있

으며 토양 pH의 개량제나 Ca의 공급원으로 이용 될 수 있으며 또한, Mg 결핍토양의 개량제로 이용 가능성이 높다.

[0030] 상기 제강슬래그의 입도는 미분일수록 비표면적이 커서 Ca와 Fe 이온의 용출이 증대되어 토양의 pH 증대와 음이온성 중금속의 부동화효과가 우수하다. 본 발명에서는 제강슬래그의 입도는 크게 제한되는 것은 아니나 0.01 내지 2.0mm로 사용하는 것이 바람직하다.

[0031] 본 발명의 토양개량제는 앞서 설명한 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 철강의 제조과정에서 생성되는 제강 슬래그를 균일하게 혼합한 혼합물은 1 : 9 ~ 9 : 1 의 무게비로 혼합하여 사용하며, 이렇게 혼합하여 개발된 토양개량제는 중금속 오염지에 0.1-50톤/ha를 사용함으로써 작물의 생육과 수량을 증진시키고 중금속의 흡수를 효과적으로 저감하여 안전농산물의 생산에 효과적임을 확인하였다.

[0032] 상기 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 제강슬래그를 적절한 비율로 혼합하여 양이온성 중금속 카드뮴, 납과 음이온성 중금속 비소가 함께 오염된 토양을 선별하여, 오염토양에서 중금속을 부동화하는 효과를 환경부의 토양오염 공정시험법에 따라 조사한 결과, 혼합제재 중 알칼리도가 개선된 굴 폐각의 처리비율이 증가함에 따라 토양 내 양이온성 중금속인 카드뮴, 납의 함량이 크게 감소하는 경향이있으며, 토양 내 비소의 함량은 제강슬래그의 처리비율이 증가함에 따라 크게 감소하였다. 중금속 오염토양에 알카리도가 개선된 굴 폐각과 제강슬래그 50:50 비율로 처리시 상기 각 물질에 의한 상승작용으로 양이온과 음이온성 중금속의 부동화 효과로 복합중금속 토양에서 중금속의 용출율을 크게 낮추어 토양을 복원할 수 있었다.

[0033] 상기 선별된 최적 제재의 적정 처리수준을 현지 포장에서 혼합제재(50:50)를 0, 2, 4, 8 톤/ha 처리하여 알타리무의 생육 및 수량특성과 중금속 흡수특성을 조사한 결과, 혼합제재의 처리량이 증가함에 따라 공시작물인 알타리무의 지상부와 지하부의 카드뮴, 납, 비소의 함량은 큰 폭으로 감소되었으며, 혼합제재를 8톤/ha까지 과량으로 처리했음에도 식물체의 생육장해 현상은 확인 할 수 없어 약 4톤/ha 수준에서 최고의 수량을 얻을 수 있었다.

[0034] 또한, 제강슬래그의 처리비율이 증가함에 따른 토양 내 비소의 함량 감소는 알카리성으로 다량의 철을 함유하고 있는 제강 슬래그의 영가철(Zero valent iron, Fe0)이 비소와 같은 음이온성 중금속을 안정화하는데 대단히 효과적임을 확인 할 수 있었다.

효 과

[0035] 본 발명의 목적은 굴 양식장에서 대량 배출되고 있는 굴 폐각을 굴 폐각의 유기물이 제거되고 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 철 제조과정 중 부산물로 재활용물이 낮은 제강슬래그를 혼합하여 제조한 토양개량제를 활용하여 토양 내 양이온과 음이온성 중금속이 함께 오염된 복합 악성오염지를 양질의 토양으로 효과적으로 복원하고, 산업부산물의 자원화에 기여할 수 있다.

[0036] 또한, 중금속 오염지에 사용할 경우 작물의 생육과 수량을 증진시키고 작물의 중금속 흡수량을 크게 저감하여 안전한 농산물의 생산할 수 있고, 자원재활용을 통한 자원 유효성을 높일 수 있으며, 더불어 자연환경의 오염을 방지할 수 있는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0037] 이하, 본 발명을 구체적인 실시 예 보다 더 상세히 설명하고자 한다. 하지만, 본 발명은 하기 실시 예에 의해 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 사상과 범위 내에서 여러 가지 변형 또는 수정할 수 있음은 이 분야에서 당업자에게 명백한 것이다.

[0038] [제조예 1] 굴 폐각의 알칼리도 향상 공정

[0039] 굴 폐각의 염분제거를 위하여 1개월 노지에 방치되고 있는 굴 폐각을 현장에서 수집하여 건조하고 입경이 2mm 이하로 분쇄하였다. 굴 폐각 분말 950g에 시중에 판매되고 있는 생석회(CaO)나 고토(MgO)를 5 중량%, 즉 50g과 완전 혼합하여 로타리킬른(Rotary kiln)식 건조기에서 400℃로 20분간 열처리 하여 사용하였다. 시험 후 굴 폐각 분말의 유기물 함량, pH 및 알칼리도를 농촌진흥청 비료공정시험법에 따라 조사를 하였으며, 하기 표 4에 그 결과를 나타내었다. 소석회와 굴 폐각 혼합 후 굴 폐각분말의 알칼리도가 크게 향상되었으며, 유기물 함량이 크게 감소하였다. 그러나 소석회와 고토 간에는 큰 차이를 보이지 않았다.

[표 4] 생석회(CaO)와 고토(MgO) 처리에 따른 굴 폐각의 알칼리도 향상 및 유기물 분해효과

처리구		열처리(400℃)	pH (1:5, H ₂ O)	알칼리도 (%)	유기물 (%)
A	무처리	무열처리	9.5	37.5	5.9
		열처리	10.1	38.8	4.5
B	생석회	무열처리	11.0	45.5	4.1
		열처리	11.9	51.8	2.5
C	고토	무열처리	10.9	46.1	4.2
		열처리	11.8	52.1	2.4

[0040]

[0041] [실시예 1]알칼리도가 개선된 굴 폐각의 토양 내 중금속 함량

[0042] 상기 무처리 굴 폐각(처리구 A)과 알칼리도가 개선된 굴 폐각(처리구 B)을 오염토양에서 중금속의 부동화 효과를 조사하기 위해, 양이온성 중금속 카드뮴, 납과 음이온성 중금속 비소가 함께 오염된 토양을 선발하여, 건조 토양 995g에 알칼리도가 향상된 굴 폐각분말 5g(0.5 %, 중량비율)과 완전혼합하고 포장용수량 70% 수준으로 수분을 일정하게 조절하면서 25℃ 항온 암조건에서 4주간 Incubation 실험을 실시하였다. 이때 알칼리도 개선 굴 폐각(처리구 B)의 중금속 부동화 효과를 비교하기 위해 아무런 처리가 되지 않은 굴 폐각 분말을 동일한 방법으로 처리하여 효과를 상대 검증하였다. 시험 후 토양 내 중금속 함량을 환경부의 토양오염공정시험법에 따라 조사를 하였으며, 하기 표 5에 그 결과를 나타내었다.

[표 5] 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 무처리한 굴 폐각에 대한 토양 내 중금속 함량 변화

처리구		토양 내 중금속 함량 (mg kg ⁻¹)		
		HCl 가용성		
		Cd	Pb	As
-		8.5	129.2	32.1
5 중량 % 처리	A	6.3	81.5	21.5
	B	4.3	51.5	10.3

[0043]

[0044] [실시예 2-4, 비교예 1-2] 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 제강슬래그의 혼합비율에 따른 토양 내 중금속 함량 비교

[0045] 양이온성 중금속과 음이온성 중금속이 복합적으로 오염된 토양에서 중금속을 효과적으로 부동화하기 위한 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 제강슬래그의 적정 혼합비율을 산정하기 위해, 각각을 0+100(비교예 1), 25+75(실시예 2), 50+50(실시예 3), 75+25(실시예 4), 100+0(비교예 2) 중량 % 비율로 혼합하여 제조된 토양 개량제 50g을 상기 중금속 오염토양 950g과 완전 혼합하여 포장용수량 70% 수준으로 조절하여 25℃ 항온 암조건 하에서 Incubation 실험을 실시하여 토양 내 중금속 함량을 조사하여, 하기 표 6에 그 결과를 나타내었다.

[0046] 무처리, 알칼리도가 개선된 굴 폐각만 처리, 제강슬래그만 처리, 혼합체제 중 굴 폐각의 처리비율이 증가함에 따라 토양 내 양이온성 중금속인 카드뮴, 납의 함량이 크게 감소하는 경향이었으며, 토양 내 비소의 함량은 제강슬래그의 처리비율이 증가함에 따라 크게 감소하였다. 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 제강 슬래그의 50:50 비율로 처리시 서로의 상승효과로 인하여 선발 중금속 오염토양에 다양한 형태의 복합중금속 함량이 토양오염우려 기준 이하로 저감되는 것을 확인하였다.

[표 6] 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 제강 슬래그의 혼합비율에 따른 토양 내

중금속 함량 비교

배합비율 (중량%)		토양 내 중금속 함량 (mg kg^{-1})		
B : C		0.1N HCl 가용성		1N HCl 가용성
		Cd	Pb	As
무처리		8.5	129.2	32.1
비교예 1	100 : 0	5.5	40.3	48.5
실시예 2	75 : 25	4.2	34.6	30.1
실시예 3	50 : 50	3.1	21.1	21.5
실시예 4	25 : 75	6.2	53.7	84.7
비교예 2	0 : 100	6.5	75.4	127.6

B: 알칼리도가 개선된 굴 폐각, C: 제강 슬래그

[0047]

[0048] [실시예 5]알타리무의 생육 및 수량특성과 중금속 흡수특성을 조사

[0049] 상기 선발된 최적 제재의 적정 처리수준을 결정하기 위해 현지 포장에서 혼합제재(50:50)를 0, 2, 4, 8 톤/ha 처리하여 2개월간 재배한 알타리무우를 수확하고, 상기 수확된 알타리무우 중에서 10개를 선별하여 알타리무우에 대한 생육 및 수량특성과 중금속 흡수특성을 조사하였다.

[0050] 실내실험을 통해 선발된 최적 혼합제재, 즉 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 제강슬래그의 50:50 혼합제재의 처리량이 증가함에 따라 공시작물인 알타리무의 지상부와 지하부의 카드뮴, 납, 비소의 함량은 큰 폭으로 감소되었다. 그 결과는 하기 표 7에서 나타내었다.

[0051] 하기 표 7에서 알 수 있듯이, 혼합제재를 8톤/ha까지 과량으로 처리했음에도 식물체의 생육장해 현상은 관찰되지 않았으며, 약 4톤/ha 수준에서 최고의 수량을 얻을 수 있었다.

[표 7] 알칼리도가 개선된 굴 폐각(50%)과 제강슬래그(50%)의 혼합제재 처리에 따

른 식물체 내 중금속 농도

혼합제재 처리량 (ton/ha)	지상부 (mg kg^{-1})			지하부 (mg kg^{-1})		
	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As
0	1.9	60.3	4.7	1.5	40.1	3.1
2	0.8	40.1	2.2	0.2	21.7	2.9
4	0.4	32.8	1.7	0.2	17.4	2.4
8	0.2	16.6	0.4	0.1	10.2	0.2

[0052]

[0053] 결과적으로 알칼리도가 개선된 굴 폐각과 제강슬래그의 혼합제재는 알칼리성 제재로서 산성토양을 개량하고, 양이온성과 음이온성의 복합 중금속의 용해도를 효과적으로 저감하여 오염토양을 효과적으로 복원하여 안정한 농산물을 생산하였다.