

폐광산 인근 논토양과 수도의 비소함량 조사

서영진* · 김찬용 · 박 만¹ · 이동훈¹ · 최충렬¹ · 김광섭¹ · 최 정¹

경상북도농업기술원 시험연구국, ¹경북대학교 농화학과

(2002년 5월 15일 접수, 2002년 7월 12일 수리)

토양중 비소함량이 식물체내 이동에 미치는 영향을 조사하기 위하여 아연 폐광산 근처 논토양과 벼에 함유된 비소함량을 조사하였다. 논토양 중 비소는 total As의 약 52.9%, extractable As의 74%정도가 iron oxide phase에 bound된 비소(Fe-As)였으며 수용성 비소(Ws-As)는 대부분 검출한계 이하였다. 비소의 연속추출 결과, extractable As fraction중 Fe-As가 1 N-HCl 가용성 As와 가장 높은 상관성을 나타내었고, 이것은 토양중 Fe-As의 함량이 많기 때문으로 생각된다. 식물체 부위별 비소의 농도는 뿌리>잎 줄기>곡실순이었으며 곡실 중에 함유된 비소농도는 FDA 식품기준 1.08 mg/kg 이하였다. 토양중 As fraction과 식물체 부위별 As함량간의 상관관계를 분석한 결과 Al-As fraction이 뿌리와 0.821, 줄기 0.888, 잎 0.777로 비교적 높은 상관계수를 나타내었고, 작물에 가장 잘 이용될 수 있는 비소의 형태는 Al-As fraction인 것으로 판단된다.

Key words: 비소, 연속추출, 광산, 벼

서 론

비소(As)는 자연생태계에서 매우 독성이 강한 물질로 미생물, 식물 등에 독성을 나타낼 뿐만 아니라 토양에 유입되어 농작물 오염, 지하로 이동하여 지하수오염을 초래할 수 있는 등 인간의 건강에 큰 위협을 가할 수 있는 오염물질이며, 토양에서 고농도의 비소는 주로 인간의 활동에 의한 것으로 광산활동에 의한 배출, 비소함유 농약 및 산업폐기물의 살포 등에 의한 것으로 알려져 있다. 특히 광산활동에 의한 비소는 arsenic acid, sulfuric acid, 또는 cyanide 등을 사용하여 광산 및 제련소에서 금, 은, 동, 아연 등의 목적하는 금속을 추출하는 과정에서 주로 발생된다. 한국에서는 1920~1930년대 이후 약 955개의 소규모 금속광산이 개발되어 그중 약 760개 정도의 광산이 폐광된 상태로 광산의 대부분은 산간지역에 위치하고 있어 범람, 침투수에 의한 토양 및 하천등의 오염 가능성이 높은 편이다. 따라서 환경 중 비소의 위험을 최소화하기 위하여 토양, 하천의 퇴적물, 지하수 등에서 비소의 행동을 이해하는 것은 매우 중요하다.

비소는 산화-환원, 흡착-탈착 및 용해-침전 등의 화학반응이 하천 퇴적물, 토양, 지하수 등의 환경에서 비소의 이동 및 화학적 형태의 변화를 조절하는 결정적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다.

비소는 두 가지 산화환원상태로 존재하며 산화상태에서는 arsenate[As(V)]로 토양용액 중에서 $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$, 환원된 상태에서는 arsenite[As(III)]로서 H_3AsO_3 로 존재할 수 있으며 As(V)보다 독성이 강하고 이동성이 큰 편이다.

토양에서 비소의 전환은 pH, 산화환원전위 등 soil parameter

에 의존하고 arsenite는 산화된 조건에서(>+100 mV) 약 4일 이내에 arsenate로 쉽게 산화되며, 반면 arsenate에서 arsenite로 변환은 몇 주정도 소요되므로 arsenate의 존재 가능성이 높다. 토양중 Al, Fe 및 Mn(hydr)oxide는 비소와 높은 친화성으로 인해 토양중 이동에 가장 큰 영향을 주는 요인으로 간주되고 있으며, 많은 연구자에 의해 비소와 metal oxide의 sorption 반응에 의한 비소의 고정화에 대한 보고가 있었으며¹⁻⁵⁾, 비소의 sorption 반응은 토양 및 잘 동정된 solid phase를 대상으로 pH의 영향을 조사한 결과 arsenate는 산성조건에서 arsenite는 알칼리조건에서 흡착이 증가하였으며^{6,7)}, Fe, Al oxides에 arsenate sorption은 constance capacitance model과 높은 상관성을 나타내므로 ligand exchange mechanism을 따르는 것으로 보고하였다⁷⁾.

Robin⁸⁾, Sadique 등⁹⁾, Dove 등¹⁰⁾, Nishimura 등¹¹⁾은 고농도의 arsenate가 존재할 때를 제외하고 surface soils에서 arsenate solid phase는 상대적으로 매우 높은 solubility로 인해 생성되기 어려운 것으로 보고하였고, 일반적인 토양 공극수에서 arsenate solubility는 침전-용해반응보다는 surface complexation 반응에 큰 영향을 받는 것으로 보고하였다.

지금까지 As에 관한 연구는 주로 흡-탈착, 산화-환원, 화학적 특성에 치중되어 있으며, 작물의 흡수에 영향을 주는 인자에 대한 연구는 매우 빈약하다.

오 등¹²⁾은 벼에 대한 비소의 피해 및 아연시용 효과에 대한 보고를 하였고, 이 등^{13,14,15)}은 토양중 비소의 행동과 벼의 비소 흡수에 의한 피해생리에 대한 연구를 수행하였는데, 토양중 비소 처리시 벼 뿌리의 이상세포 발생, 흡수기능 저하, 뿌리갈변 등을 초래하고, 상시 담수 처리시 수용성 비소와 Ca-As가 증가한다고 보고하였다.

하지만 토양중 비소의 식물체로 이동에 관여하는 요인이 분명하게 밝혀져 있지 않으므로 토양중 비소의 분포형태와 식물체중 이동과 상관분석에 의한 식물체 흡수에 관여하는 인자를

*연락처

Phone: 82-53-320-0269; Fax: 82-53-321-7730

E-mail: francisc@naver.com

조사하는 것은 토양 및 작물중에서 비소의 행동을 예측하고, 작물 재배시 피해경감방안을 마련 및 농산물 안전성을 확보하는 측면에서 매우 중요할 것이다.

따라서 본 연구는 1) 광산활동에 의한 비소 오염우려지의 비소함량 및 토양중 분포양상을 조사하고, 2) 그 토양에서 재배된 벼의 부위별 비소함량을 분석에 의한 식물체내 이동성을 조사하고 3) 토양특성과 벼의 비소함량과의 상관관계를 분석하여 비소흡수에 영향을 주는 인자를 조사하고자 실시하였다.

재료 및 방법

조사지역 및 현황. 석산광산은 아연광산으로 조사지점의 위치는 북위 36° 12' 15", 동경 128° 52' 25"로서, 행정구역은 경상북도 군위군 고로면 석산리에 속한다.

조사지점의 토양은 주로 금곡토(Loamy skeletal, Fluvaquentic, Eutrochrepts, Inceptisol), 호계토(Loamy skeletal, Dystric, Eutrochrepts, Inceptisol)와 석토토(Loamy skeletal, Dystric Fluventic, Eutrochrepts, Inceptisol)로 구성되어 있으며, 이 지역은 백악후기의 불국사 관입암군인 경상퇴적암군에 속하는데 광산주위 주요 지질은 Felsite, Quarts porphyry, granite porphyry 등이 있다.

시료채취 및 분석방법. 광산주위 논토양은 수계의 흐름에 따라 9개 지점에서 채취하였고, 채취지점은 Fig. 1과 같다. 토양은 0~15 cm의 표층에서 채취하였으며, 채취한 시료는 음건한 후 2 mm체로 쳐서 분석용 시료로 사용하였다.

토양은 농촌진흥청 토양화학분석법¹⁶⁾에 따라 pH는 초자전극법, 유기물은 Tyruin법으로 정량하였고, 유효인산, 유효규산은 Lancaster용액, 1 N-sodium acetate 완충용액으로 추출한 후 비색 정량하였으며, 치환성 K는 1 N-NH₄OAc용액으로 추출한 후 원자흡광분광광도계(AAs 3300, Perkin-Elmer)를 사용하여 정량하였다.

Total As 및 식물체중의 As 함량은 EPA 3051 method에 따라 질산용액을 넣고 마이크로웨이브(Mars 5, CEM)로 분해한 후 분해액을 유도결합플라즈마분석기(Optima 3200RL, Perkin-Elmer)에 직접 주입시켜 분석하였다.

비소의 연속 추출은 Onken 등¹⁷⁾의 방법에 따라 다음과 같은 순서로 행하였다. 먼저 토양 1.0 g을 1 M-NH₄Cl 25 ml을 넣고 30분간 진탕한 후 3,000×g에서 10분간 원심분리 하고 상정액을 수용성 비소(WS-As)분석용 시료로 하였다. 수용성 비소를 추출한 토양시료에 포화 NaCl 25 ml을 넣고 두 번 세척한 후 0.5 M-NH₄F 25 ml을 넣고 1시간 동안 진탕하여 알루미늄 결합 비소(Al-As)를 추출하였다. 그리고 수용성 분획과 동일한 방법으로 2회 세척하였다. 철과 결합된 비소(Fe-Al), 칼슘결합 비소(Ca-As)는 위와 동일한 조작으로 0.1 M-NaOH, 0.5 M-H₂SO₄를 이용하여 각 17시간, 1시간 동안 추출하였다.

수용성 비소는 FIAS 400 환원기화장치가 부착된 원자흡광분광광도계(Analyst 100, Perkin-Elmer)를 이용하여 환원기화법으로 분석하였다. 환원기화장치의 이동상으로 10% HCl, 환원제로는 0.5% NaBH₄를 0.05% NaOH에 녹여 사용하였다. 수용성 비소 분석용 시료는 분석하기 전 C-HCl 1 ml, 5%(W/V) KI용

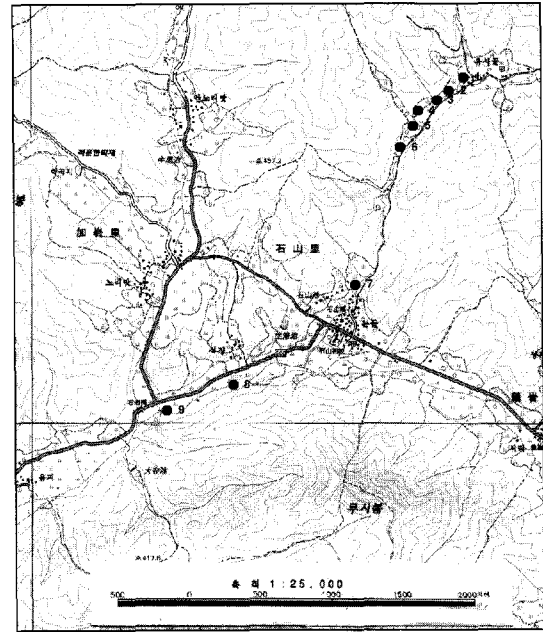


Fig. 1. Location of soils and rice plants sampled at abandoned mine.

액과 5%(W/V) ascorbic acid를 함유한 환원용액 1 ml를 넣고 미리 환원시키고 분석에 사용하였고, Al-As, Fe-As, Ca-As는 유도결합플라즈마분석기에 직접 주입시켜 분석하였다.

모든 측정은 2반복으로 실시하였으며, 분석자료의 상관분석은 SPSS 8.0 통계 프로그램을 이용하여 실시하였다.

결과 및 고찰

조사지점의 비소함량 및 토양의 화학성은 Table 1과 같으며 Total As 함량은 평균 21.2 mg/kg으로 최고 77.9 mg/kg, 최저 33.8 mg/kg이었으며 1 N HCl 가용성 As는 평균 10.8 mg/kg로 Total As의 49.6% 정도를 차지하였다. 비소의 fraction별 연속 추출 결과 water soluble 또는 loosely bounded된 수용성 비소(WS-As)는 대부분의 토양에서 검출한계 이하로 존재하였고 최고 0.6 mg/kg의 농도를 나타내었고 철과 결합된 Fe-As fraction이 평균 12.0 mg/kg으로 2.5~23.0 mg/kg의 범위를 나타내어 Total As 농도의 52.9% 정도를 차지하였고 Al oxide 또는 aluminosilicate 등에 흡착 및 침전된 hydrate arsenide, hydroxyl arsenide의 형태인 알루미늄 결합 비소(Al-As)는 평균 2.1 mg/kg의 농도를 나타내었다. 칼슘과 결합, 탄산 등과 침전된 형태의 Ca-As fraction은 평균 2.1 mg/kg정도로 Al-As와 유사한 농도를 나타내었다.

토양중 비소의 지구화학적 행동을 조사한 결과 여러 연구자에^{4,19,20,21,22)} 의해 환경 중에서 Ca-, Mg-arsenate의 형성 뿐만 아니라 As와 Al-, Fe-oxyhydroxide간 ligand exchange에 따른 surface complexation이 As sorption의 일차적인 기작이며 표면적과 상관성이 매우 높다고 하였으므로 토양중 대부분의 비소는 Al 및 Fe-oxyhydroxide 등 부정형 oxide에 surface complexation 된 형태로 존재하는 것으로 생각된다.

Table 1. Arsenic concentration and chemical properties of paddy soil in the vicinity of abandoned mine

	As concentration (mg/kg)						Soil chemical properties							
	Total As	1 N HCl As	Ws-As	Al-As	Fe-As	Ca-As	pH (1:5)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. K (cmol(+)/kg)	Av.SiO ₂ (mg/kg)	Total Fe (%)	Total Al (%)	Total Mn (mg/kg)
Mean	21.2	10.8	0 ¹⁾	2.1	11.1	2.1	5.9	22.2	311.8	0.21	48.4	2.1	2.8	370
SD	14.40	6.39	-	0.80	6.94	1.98	0.16	7.59	302.5	0.059	13.27	0.40	0.62	120.6
Max	77.9	21.32	0.6	3.8	23.0	5.1	6.2	36.2	988.0	0.29	77.9	2.6	3.6	520
Min	33.8	3.4	BLD ²⁾	1.4	2.5	BLD	5.7	14.9	66.0	0.12	33.8	1.4	1.9	163

¹⁾As was not detected in most samples. ²⁾BLD: Below detection limit.

Total As: HNO₃ Microwave digestion (EPA Method 3051).

1 N HCl As: Korea standard method.

Ws, Al-, Fe-, Ca-As are 1 N-NH₄Cl, 0.5 N-NH₄F, 0.1 N-NaOH, 0.5 N-H₂SO₄ solution extractable As, respectively.

Table 2. Correlation coefficients between Total As, 1 N HCl extractable As and sequential extractable As in soils

Total As	1N HCl As	Ws-As	Al-As	Fe-As	Ca-As	
1.000	0.856*	-0.210	0.987***	0.922**	0.888**	Total As
-	1.000	-0.355	0.797*	0.940**	0.808*	1N HCl As
-	-	1.000	-0.160	-0.241	-0.228	Ws-As
-	-	-	1.000	0.872*	0.887**	Al-As
-	-	-	-	1.000	0.808*	Fe-As
-	-	-	-	-	1.000	Ca-As

*, **, ***: Significant at 95, 99, 99.9% levels, respectively.

Total As: HNO₃ Microwave digestion (EPA Method 3051).

1 N HCl As: Korea standard method.

Ws, Al-, Fe-, Ca-As are 1 N-NH₄Cl, 0.5 N-NH₄F, 0.1 N-NaOH, 0.5 N-H₂SO₄ solution extractable As, respectively.

조사지점의 pH는 5.9, 유기물은 22.2 g/kg, 치환성 K는 0.21 cmol(+)/kg으로 논토양 평균함량과 유사하였고, 유효인산은 311.8 mg/kg으로 높은 편이었으며 유효규산 농도는 48.4 mg/kg으로 비교적 낮은 편이었다. 그리고 Fe함량은 평균 2.1%, Al은 평균 2.8%, Mn은 370 mg/kg정도 되었다.

토양중 total As, 1 N HCl 추출 As함량과 sequentially extractable As간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 2와 같다.

Total As와 Al-As사이의 상관계수는 0.987***로 상관관계가 가장 높았고 그 다음으로 Fe-As와 0.922**의 상관관계를 나타내었으며, 1 N HCl 추출 As와는 Fe-As와 0.940**의 상관을 나타내었고 Al-As와는 0.797*의 상관을 나타내었다. 여러 연구자에 의해^{2,23,24)} As는 P와 토양중에서 유사한 지구화학적 행동을 나타낸다고 보고되었고, Mcdowell 등은²⁵⁾ solid state ³¹P NMR을 이용하여 경작지 토양중 잠재적으로 이동성이 강한 인산의 fraction을 조사한 결과, apatite like phase, brushite (CaHPO₄ · 2H₂O) 등 soluble Ca-P phase(not condensed), loosely adsorbed (protonated) P 등 물에 잘 용해되는 수용성 부분과 wavellite등의 Al-P이라고 하였다. 하지만 상관분석 결과와 비교해 볼 때 1 N-HCl에 의한 추출은 metal과 결합되어 있는 As를 강한 산을 통해 용해시켜 추출하는 방법으로 수용성, 침전 및 흡착된 형태의 As가 추출될 수 있으므로 비교적 추출될 수 있는 함량 많은 Fe-As와 상관이 높은 것으로 생각된다.

이 등²⁶⁾은 광산지역 토양을 대상으로 비소의 형태별 함량을 분석한 결과 Al-As함량이 12.0~47.9 mg/kg, Fe-As는 5.6~59.9 mg/kg으로 본 조사지역의 비소함량 분포보다 차이가 적은 편이며 현미증의 비소함량과 As fraction간 상관 분석한 결과

Al-As fraction의 상관이 가장 높았다는 결과로 판단할 때 현재 우리나라에서 공정시험법으로 사용하는 1 N-HCl 추출방법은 토양특성에 따라 상이한 결과를 나타낼 수 있으며, Mcdowell 등²⁵⁾과 이 등²⁶⁾의 보고와 같이 As의 이동성 및 작물의 흡수 이용성이 강한 부분은 Al과 결합된 비소인 것으로 추정된다.

벼 부위별 As 농도를 조사한 결과 뿌리의 As농도는 평균 174.1 mg/kg으로 조사지점에 따라 91.0~375.3 mg/kg의 범위를 나타내었으며 줄기는 평균 10.6 mg/kg, 잎에서는 11.6 mg/kg을 나타내었다(Fig. 2). 작물에 대한 비소의 피해에 대한 보고는 이동이¹³⁻¹⁵⁾ 수도의 근수 근장 및 근경은 토양중 비소농도가 증가함에 따라 현저히 감소되었고, 중심주의 직경도 크게 좁아지며,

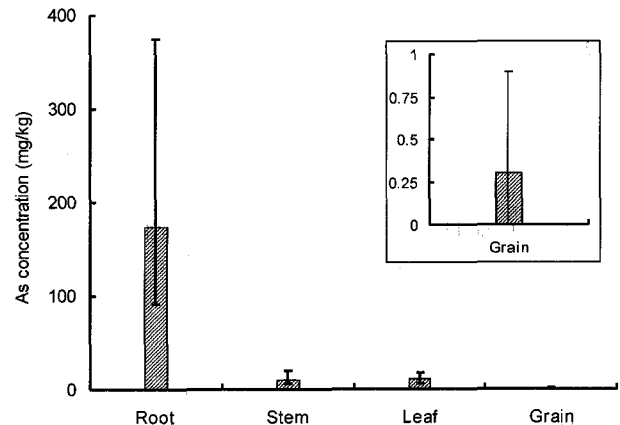


Fig. 2. Total arsenic levels of rice plants cultivated in paddy soils around the abandoned mine.

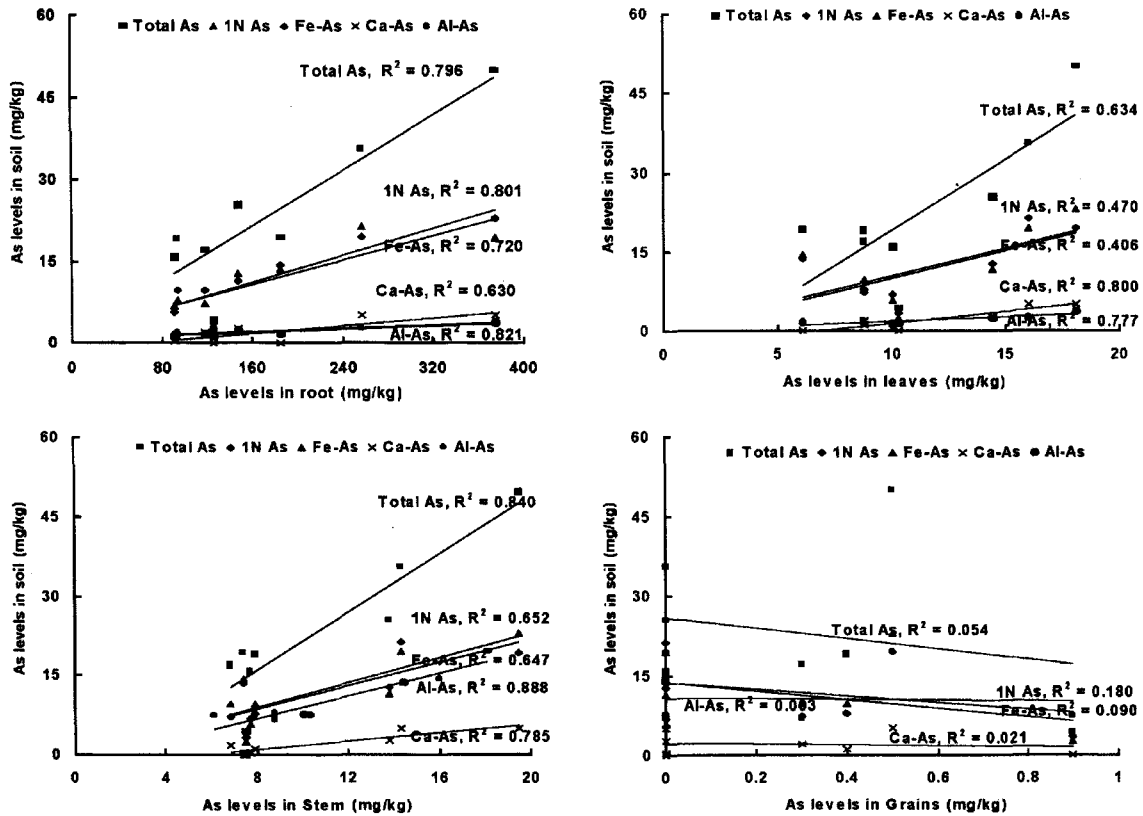


Fig. 3. Scatter plots of As levels in soils Vs rice plants.

뿌리에 유해물질을 과다하게 축적되어 수분 및 무기양분의 흡수능력이 저해를 받으며, 엽의 기공저항성 및 엽온은 높아지나 공기유량, 증산율 및 엽내습도가 낮아지고 수도의 초장, 분얼수, 엽폭, 고중 및 근중이 감소되어 수도에 대한 비소피해증상은 뿌리가 갈변하고 잎이 말리며 엽의 선단과 가장자리가 괴사되는 것이라고 하였으며, 조사지점의 1 N-HCl 가용성 비소의 함량이 대부분 지역에서 환경오염우려기준 6 mg/kg을 대부분 초과하므로 비소에 의한 벼의 생육은 지장을 초래할 수 있으나, 곡실중에 함유된 비소는 평균 0.3 mg/kg으로 농도가 매우 낮은 것으로 나타났다(Fig. 2). 현재 현미중 비소함량에 대한 규제는 없으나 일본의 경우 원예작물의 비소제한 농도를 1~3 mg/kg, FDA에서는 식품중 비소농도를 1.08 mg/kg으로 규제하고 있고 작물의 일반적인 비소함량을 조사한 결과^{11,27)} 평균 0.1~5.0 mg/kg으로, 일본에서 조사된 맥류종실, 현미중 천연함유량은 약 0.14~0.20 mg/kg이라고 보고하였는데, 본 조사에서 곡실중 평균 0.3 mg/kg, 최대농도 0.9 mg/kg 미만이므로, 따라서 비소는 뿌리에 많이 집적될 수 있지만 곡실로의 이행은 잘 안되는 편인 것으로 판단된다.

식물체 부위별 비소함량과 토양중 sequential extractable fraction간의 관계를 Fig. 3과 같이 나타내었다. 뿌리, 줄기, 잎에 함유된 비소함량과 토양중 Al-As fraction의 상관성이 각각 0.821, 0.888, 0.777로 비교적 높았으며 곡실중 함량과는 상관관계가 없었다. 현재 우리나라에서 공정법으로 사용되는 1 N-HCl 추출 비소함량과는 뿌리 0.801, 줄기 0.652, 잎 0.470의

상관계수를 나타내어 작물에 흡수, 이용될 수 있는 비소는 주로 Al과 결합된 비소가 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

참고문헌

- Anderson, M. A., Ferguson, J. F. and Gavis, J. (1975) Arsenate adsorption on amorphous aluminium hydroxide. *J. Colloid Interface. Sci.* **54**, 391-399.
- Deuel, L. E. and Swoda, A. R. (1972) Arsenic solubility in a reduced environment. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **36**, 276-278.
- Oscarson, D. W., Hwang, P. M., Liaw, W. K. and Hammer, H. T. (1983) Kinetics of oxidation of arsenite by manganese oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **47**, 644-648.
- Pierce, M. L. and Moore, C. B. (1982) Adsorption of arsenite and arsenate on amorphous iron hydroxide. *Water Res.* **16**, 1247-1253.
- Takamatzu, T., Aoki, H. and Yoshida, T. (1982) Determination of arsenate, mono-methyl arsenate, and di-methyl arsenate in soil polluted with arsenic. *Soil. Sci.* **133**, 239-246.
- Goldberg, S. and Glaubig, R. A. (1988) Anion sorption on a calcareous, montmorillonitic soil-arsenic. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **52**, 1297-1300.
- Hingston, F. J., Posner, A. M. and Quirk, J. P. (1971) In *Surface chemistry of oxides. Discussions of the Faraday Society* The Faraday Soc. London. pp. 334-343.
- Robins, R. G. (1981) In *The solubility of metal arsenate*. Metallurgical Trans B. The American Society for metals and

- the Metallurgical Society of AIME. **12B**, 103-109.
9. Sadique. M., Zaid, T. H. and Mian, A. A. (1983) Environmental behavior of arsenic in soils. theoretical. *Water, Air, Soil Pollut.* **20**, 369-377.
 10. Dove. P. M. and Rimstidt, J. D. (1985) The solubility and stability of scorodite, $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Am. Minerals.* **70**, 838-844.
 11. Nishimura. T., Itho, C. T. and Tozawa, K. (1987) In *Stabilities and solubilities of metal arsenite and arsenate in water and effect of sulfate and carbonate ions on their solubilities*. Arsenic metallurgy, fundamentals and applications; proceedings of symposium. pp. 77-98.
 12. Oh, Y. T. and Sedberry, Jr. J. E. (1974) Arsenic toxicity of rice and its interrelation with zinc. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* **7**, 43-47.
 13. Lee, M. H. and Lim, S. K. (1987) Behaviors of arsenic in paddy soils and effects of absorbed arsenic on physiological and ecological characteristics of rice plant. III. Effect of water management on As uptake and the growth of rice plant at As added soil. *Korean. J. Environ. Agric.* **6**, 1-6.
 14. Lee, M. H., Lim, S. K. and Kim, B. Y. (1987) Behaviors of arsenic in paddy soils and effects of absorbed arsenic on physiological and ecological characteristics of rice plant. IV. Effect of As content in water culture on transpiration, stomatal resistance, temperature and humidity in the leaves of rice plant. *Korean J. Environ. Agric.* **6**, 39-45.
 15. Lee, M. H., Lim, S. K., Park, Y. D. and Lee, S. H. (1988) Behaviors of arsenic in paddy soils and effects of absorbed arsenic on physiological and ecological characteristics of rice plant. V. Effect of arsenic added to soil on ecological characteristic of the rice plant. *Korean J. Environ. Agric.* **7**, 21-25.
 16. National institute of agricultural science and technology. (1988) In *Method of soil chemical analysis* Suwon, Korea. pp. 26-109.
 17. Onken, B. M. and Adriano, D. C. (1997) Arsenic availability in soil with time under saturated and subsaturated conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **61**, 746-752.
 18. SPSS. 1986. In *SPSS/PC* for IBM PC/XT/AT*. SPSS Inc. pp. B143-151.
 19. Goldberg. S. (1986) Chemical modeling of arsenate adsorption on aluminium and iron oxide minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **50**, 1154-1157.
 20. Davenport. J. R. and Peryea, F. J. (1991) Phosphate fertilizers influence leaching of lead and arsenic in a soil contaminated with lead arsenate. *Water, Air, Soil Pollut.* **57**, 101-110.
 21. Mok, W. M., Riley, J. A. and Wai, C. M. (1988) Arsenic speciation and quality of groundwater in a lead zinc mine, Idaho. *Water Res.* **22**, 769-774.
 22. Mok, W. M. and Wai, C. M. (1990) Distribution and mobilization of arsenic and antimony species in the Coeur D, Alene river, Idaho. *Environ. Sci. Technol.* **24**, 102-108.
 23. Adriano, D. C. (1986) In *Trace elements in the terrestrial environment* Springer-Verlag, New York. pp.
 24. Darland. J. E. and Inskeep, W. P. (1997) Effect of pH and phosphate competition on the transport of arsenate. *J. Environ. Qual.* **26**, 1133-1139.
 25. McDowell, R. W., Condron, L. M., Mahieu, N., Brookes, P. C., Poulton, P. R. and Sharpley, A. N. (2002) Analysis of potentially mobile phosphorus in arable soils using solid state nuclear magnetic resonance. *J. Environ. Qual.* **31**, 450-456.
 26. Lee, M. H. (1986) Behaviors of arsenic in paddy soils and effects of absorbed arsenic on physiological and ecological characteristics of rice plant, Ph.D. Thesis, Korea university, Seoul. p. 6.
 27. Allaway, W. H. 1968. Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. *Advances in Agronomy* **20**, 235-274.

Concentration of Arsenic in Rice Plants and Paddy Soils in the Vicinity of Abandoned Zinc Mine.

Young-Jin Seo*, Chan-Yong Kim, Man Park¹, Dong-Hoon Lee¹, Choong-Lyeal Choi¹, Kwang-Seop Kim¹ and Jung Choi¹ (KyungBuk Agriculture Technology Administration, Taegu 702-708, Korea, ¹Dept. of Agricultural Chemistry, KyungBuk National University, Taegu 702-701, Korea)

Abstract: Soils near abandoned zinc mines were known to be contaminated with arsenic-rich mining by-products. To examine the potential impacts of arsenic- contaminated soils on plant growth, surface soils were subjected to sequential extraction. Results revealed that 54% and 74% total As and 74% total extractable As were bound to iron hydrous oxide, and water soluble fraction was below detection limit. Arsenic fraction extracted using the Koran standard method(dissolution of metals via treatment of 1 N HCl) was strongly correlated with the Fe-bound As fraction ($r^2=0.884^{**}$). Arsenic level in rice plant roots was the highest with a maximum value of 154.9 mg/kg, whereas it was below 0.6 mg/kg in grains. Arsenic level in rice plant roots was strongly correlated with those of Al-bound As ($r^2=0.821^{**}$) and 1N HCl-extractable As levels ($r^2=0.801^{**}$).

Key words: arsenic, sequential extraction, mine, rice.

*Corresponding author