

구운동 폐광산 하류 농토양의 토심별 중금속함량

윤을수* · 박성학¹ · 고지연 · 정기열 · 박기도 · 황재복 · 박창영

농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작곡과, ¹청도농협

Vertical Distribution of the Heavy Metal in Paddy Soils of Below Part at Guundong Mine in Milyang, Korea

Eul-Soo Yun*, Sung-Hak Park¹, Jee-Yeon Ko, Ki-Yeol Jung, Ki-Do Park, Jae-Bok Hwang, and Chang-Yeong Park

Functional Cereal Crop Div. National Institute of Crop Science, RDA, Milyang, 627-130, Korea

¹Chengdo Regional Agricultural Cooperative, Milyang, 627-702, Korea

This study was conducted to investigate form of pollution brought by residual of mine tailing in agricultural land, and get basic information need for environment restoration. Guundong mine was completely restored region by implementation the soil pollution prevention plan. The districts is soils in Guundong mine vicinity the Mahul-ri, Muan-myeon, Miryang city, Gyeongsangnam-do. The nature of soil studied is the Shinra series andesite and mineral deposits which contain brimstone and heavy metals such as gold, silver, copper, lead, and zinc. The residual mine tailing and around agricultural land of heavy metals analyzed with 0.1N HCl solubility. The chemical properties of surface soil in upper part around mining area were pH 4.3-4.4, organic matter 19-21 g kg⁻¹, available P₂O₅ 85 mg kg⁻¹, exchangeable Ca 0.21-0.25 cmol_c kg⁻¹, exchangeable Mg 0.04 cmol_c kg⁻¹. The pH, exchangeable Ca, and Mg were increased with soil depth. The contents of 0.1N HCl extractable Cu, Cd, Pb, Cr, and Ni in soil (siteI) which influenced by outflow water from mine tailing were 97, 0.6, 197, 0.28 및 0.12 mg kg⁻¹, respectively. The vertical distribution of heavy metals in soil varied considerably among the metals kind. In case of siteI, The content of Cu, Pb, and Cr in soil was highest at surface soil. However, the content of Cd, Zn, Ni, and Mn was high at middle part of soil profile.

Key words: Guundong mine, Heavy metals, Soil pollution, Sediment

서 언

토양은 생태학상 수권과 대기권의 중간 매체로 매우 중요한 위치에 있다. 동식물의 생산기반인 토양이 중금속으로 오염되면 일차 생산물인 작물이 오염되고 이를 소비하는 인간이 중금속에 오염되어 심각한 건강장애를 일으킬 수 있다. 특히 토양의 구성은 유무기물 복합체로서 유해물질의 오염형태 및 반응도 다양하여 일단 오염되면 그 영향이 장기간 지속되고 복원에 매우 어려움이 있다. 환경오염원에는 농업, 자동차에 의한 비점오염원과 광산, 공장과 같이 오염원이 확실한 점오염원으로 구분된다. 폐광산은 점오염원으로 금속광산과 석탄광으로 구분되며, 금속광은 지하에 매장되어 있는 광석을 채굴해 선광 후 고품위는 제련하고 저품위는 광산인근에 야적을 한다. 이와 같

은 광산의 활동은 인위적인 2차 환경변화에 속하며, 2차적 환경변화는 일차적 변화에 비해 지구환경 오염의 원인이 된다. 채광의 품위저하와 채산성의 감소는 휴·폐광을 증가시키고 우리나라에는 1,000여 개 이상의 휴·폐광이 산재하고 있으며 (Min et al., 2000) 폐광 후 적절한 환경 복원시설이 미비하여 광미 적재지역의 지반침하 및 관내수의 유출로 광산 하부지역 토양의 오염가능성이 있다 (Jung et al., 2004; Lee & Jung, 2004). 광산에서 발생하는 폐기물은 선광과 제련과정에서 발생하는 폐석 그리고 광미로 구분되며 이들은 상부에서 유출되는 물에 의해 하류로 이동되어 주변 농경지 및 수계로 침전되어 토양을 오염시킨다(Jeon et al., 2002). 토양 내 중금속의 이동과 분포특성은 중금속의 종류와 농도 그리고 존재형태에 따라 달라지며 (Park et al., 2001) 토층내의 이동은 토양의 pH와 Eh 및 양이온치환용량과 관련성이 높은 것 (Kim et al., 1999; Jung et al., 2000)으로 알려져 있다. 폐광산 주변 환경오염에 관한 연구는 하상퇴적물,

접수 : 2010. 9. 28 수리 : 2010. 10. 11

*연락처 : Phone: +82553501262

E-mail: yesoo@korea.kr

토양 등에 대한 중금속 오염정도 파악, 오염경로 및 확산 범위 그리고 존재형태 등을 규명하는데 주력하여 왔다. 본 연구의 조사지역인 구운동광산의 주변 토양 및 수자원의 오염도는 폐광상태로 방치함에 따른 광구수 및 광미 유출수에 의해 주변 토양의 구리와 납은 토양오염 우려기준보다는 낮으나 일부지역에서는 다소 높은 것으로 보고 (YARI, 1997) 된 바 있으나 폐광산 광미 적치장 유출수와 광구수에 의한 토양오염 영향에 대한 연구는 미진한 편이다.

따라서 본 연구는 금속 폐광산 하류지역 농토양에 대한 중금속 오염형태를 조사하여 오염 농경지 복원과 합리적 이용에 필요한 기초 자료로 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

조사지 개황 및 특성 본 연구의 조사지역은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 우리나라 동남부 경상남도 밀양시 무안면 마흘리에 위치한 구운동(양구동)광산으로 중남산(해발 663.5m)의 줄기로 북방 약 2.5 km에 위치한 지역이다. 지질은 안산암(安山岩)이고 광맥은 안산암질암의 함유화광(含硫化鑛) 석영맥(石英脈)에 의해 이루어졌으며, 방연광(方鉛鑛) 섬아연광(閃亞鉛鑛)과 황동광(黃銅鑛), 황철광(黃鐵鑛) 등의 유화광물(硫化鑛物)과 함께 산

출되었다. 주 채광 금속은 금, 은, 동, 납, 아연이었으며, 1919년 일본인 原口要三郎이 개광(開鑛)하여 채광하였으나 광복 후 채산성 때문에 폐광상태로 방치되고 있었다. 조사지역은 폐금속 광산 주변지역 토양오염 방지시설사업의 일환으로 1996년 광미퇴적지의 매립과 개울 중앙의 광구를 시멘트로 밀봉하였으며, 소류지 퇴적물의 준설 및 유해 중금속으로 오염된 농경지에 대한 토양 개선사업이 시행된 곳이었다.

토양시료채취 본 연구에 이용된 시료 채취 지점은 Fig. 1과 같다. 토양시료는 광미 야적지 유출수를 직접 관개해 영농을 했던 최상류 지역 휴경논 토양을 SI로 하고, 본 수계의 제 1차 소류지인 백안지를 통과해 관개했던 마흘지 상류의 담수 휴경논 토양을 SII로 하였다.

그리고 제 2차 소류지인 마흘지를 통과해 관개하는 경작 논 토양을 SIII으로 분류하여 채취하였다. 오염관개수가 토양오염에 미치는 영향을 구명코자 최상류 휴경논(SI)을 토양의 색에 따라 구분 82 cm까지 토심별로 8개의 시료를 채취하였고, 백안지를 통과해 관개했던 논(SII)을 토색에 따라 약 40 cm까지 4점씩 채취하였다.

토양분석 채취한 토양시료는 음건하여 고무망치로 분쇄한 후 2 mm 폴리에틸렌체를 통과시킨 다음, 비닐 봉투에 보관 분석시료로 하였다. 분석은 우리나라 토양오염공정시험법 (Ministry of Environment, 1999)에 준해 0.1N HCl용액에 조제된 토양 10 g을 100 ml 삼각플라스크에 취하여 유해금속측정용 시약으로 조제된 0.1N HCl 용액 50 ml를 가하고, 30°C 항온하에서 진탕 10 cm의 진탕기에서 분당 100회로 1시간 진탕한 후 No. 5B 여과지로 여과하여 유도결합플라즈마 발광광도계 (Perkin Elmer 3300)을 이용하여 각 성분을 측정하였다. 고형물의 입자표면과 이차광물에 흡착된 중금속을 용출해 낼 수 있고 독일과 네덜란드에서 중금속 분석 시 전처리 방법으로 이용되고 있는 왕수로 침출시켜 0.1N HCl법과 동일하게 분석하였다. 토양의 화학성은 토양화학분석법 (NIAST, 1988)에 준해, pH는 초자전극법으로, 유기물함량은 Tyurin법으로, 유효인산은 1-amino 2-naphtol 4-sulfonic 산에 의한 몰리부덴 청법에 따라 비색 정량하였고, 치환성 양이온은 1N-초산암모늄으로 침출한 다음 유도결합플라즈마 발광광도계 (Perkin Elmer 3300)로 분석하였다.

결과 및 고찰

퇴적토양의 화학적 특성 광산하류 퇴적토양 즉 광미 퇴적지의 침출수로 직접 관개해 논으로 이용하였던 최

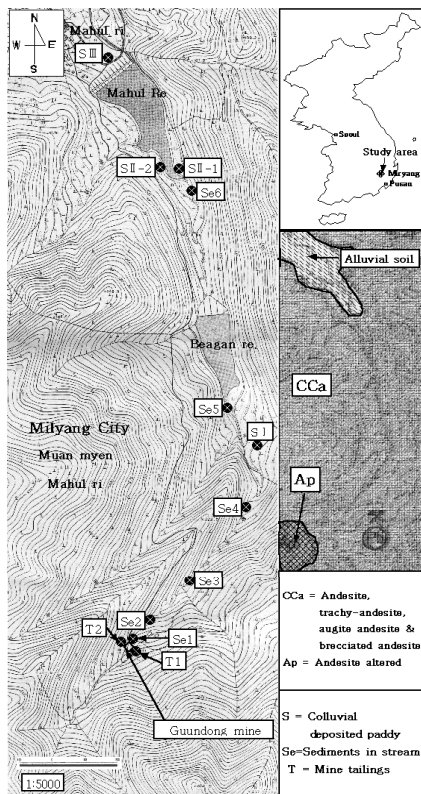


Fig. 1. Map of geology and sampling site in area studied.

상류 휴경논 (SI)의 화학성은 Table 1과 같다. 상부 토층인 토심 0-16 cm의 pH는 4.4내외로 아주 강한 산성으로 보인 반면, 16 cm 하부 토층은 5.1이상으로 토심이 깊어짐에 따라 높아지는 경향이였다.

EC의 경우 표토 (0-16 cm)가 0.25 dS m⁻¹로 심토 보다는 매우 높은 경향을 보여 pH와는 상반된 양상을 보였다. 유기물의 함량은 표토의 경우 20 g kg⁻¹으로 다소 높은 경향이였으나 심토에는 12-18 g kg⁻¹으로 토층 간 뚜렷한 차이가 없었는데, 이는 토양의 퇴적시 주변 환경의 영향으로 생각된다. 아울러 유효인산의 경우는 표토에서는 85 mg kg⁻¹으로 우리나라 농경지 평균함량과도 유사한 결과를 보였는데 이는 휴경지라도 다량의 식물체 분해 산물이 인산의 공급원으로 작용했기 때문으로 생각되며 13 cm 이하 토심에서는 6-13 mg kg⁻¹으로 매우 낮은 함량이였다. 칼리의 함량도 전층을 통해서 0.1 cmol_c kg⁻¹으로 매우 낮았다. 석회와 고토함량은 표토에서 낮은 반면 16 cm 이하 심토에서는 다소 높은 경향을 보였는데 이는 pH의 토심별 분포와 비슷한 양상이였다.

본 수계의 제1차 소류지인 백안지를 통과해 관개했던 마홀지 직상류의 휴경논 (SII)의 화학성은 Table 2와 같다.

표토의 토색이 다른 두 토양의 화학성을 비교해 본 결과 유기물을 제외하고는 암갈색토가 갈색토보다 화학성이 낮은 경향이였고, pH는 0-6 cm에서 암갈색토 및 갈색토가 5.19 및 5.96으로 SI보다 높게 나타난 반면 6-21 cm 및 6-17 cm에서는 4.87 및 5.08로 매우강한 산성 및 강한 산성으로 최상류 논토양 (SI)의 표토 0-13 cm와 비슷한 경향이였다. 표토 0-6 cm에서 pH가 높은 것은 담수 기간 동안 pH가 높은 마홀지 수원의 영향을 받은 것으로 생각된다.

중금속 함량 본 조사지역의 광구 및 광미 적치장에서 거리별 퇴적토양의 표토 중금속 함량은 Table 3과 같다. 광미 적치장에서 거리가 멀어질수록 구리와 납은 감소하는 반면, 카드뮴과 니켈은 증가하는 경향을 보였다. 즉 최상류 지역 토양 (SI)의 경우 구리, 납, 크롬의 함량이 각각 97.0, 197.0, 0.28 mg kg⁻¹으로 높은 반면 카드뮴의 경우는 백안지 상류 논토양 (SII)에서 3.1-3.4 mg kg⁻¹으로 최상류지 토양에 비해 높았다. 그리고 경지정리 등의 오염토양복원사업이 진행되어 현재 경작지로 이용되고 있는 토양 즉, SIII의 경우 구리 카드뮴, 납, 니켈 및 크롬

Table 1. Chemical properties of the abandoned paddy of first deposited soils (S I) from main stream in studied basin.

Soil depth cm	pH	EC dS m ⁻¹	OM g kg ⁻¹	Av. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Ex-cation		
					K	Ca cmol _c kg ⁻¹	Mg
0~13	4.3	0.27	21.2	85	0.06	0.21	0.04
13~16	4.4	0.23	19.0	6	0.04	0.25	0.02
16~27	5.1	0.12	12.1	13	0.08	0.96	0.20
27~38	5.4	0.10	15.3	12	0.10	1.84	0.42
38~49	5.6	0.12	14.7	12	0.09	1.96	0.51
49~60	5.7	0.09	16.2	10	0.08	1.73	0.43
60~71	5.8	0.09	17.8	5	0.06	3.12	0.80
71~82	5.8	0.09	13.2	6	0.06	3.08	0.80

Table 2. Comparison of the chemical properties of abandoned paddy as effected by different surface soil color in studied basin.

Surface soil color	Soil depth cm	pH	EC dS m ⁻¹	OM g kg ⁻¹	Av. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Ex-cation		
						K	Ca cmol _c kg ⁻¹	Mg
Brown	0~6	5.96	0.23	15.7	50	0.09	4.20	1.18
	6~17	5.08	0.20	18.6	105	0.07	2.33	0.64
	17~24	5.43	0.22	10.1	6	0.07	2.69	0.74
	24~35	5.76	0.21	12.1	8	0.07	4.55	1.17
Dark brown	0~6	5.19	0.30	23.8	27	0.08	2.86	0.83
	6~21	4.87	0.16	26.6	49	0.07	1.32	0.44
	21~31	5.10	0.20	19.5	13	0.07	2.66	0.78
	31~41	5.68	0.13	17.8	8	0.08	4.87	1.36

Table 3. Comparison of the trace element concentration in surface soils of paddy in accordance with deposition in basin studied.

Distance from mine (m)	Surface soil color	Cu	Cd	Pb	Cr	Ni	Remark
		----- mg kg ⁻¹ -----					
600 (SI)	Brown	97.0	0.6	197.0	0.28	0.12	Abandoned paddy
1200 (SII-1)	Brown	51.8	3.1	92.9	0.06	0.18	
1,200 (SII-2)	D. Brown	51.0	3.4	77.1	0.05	0.24	
2,000 (SIII)	-	25.3	2.8	16.7	0.17	0.44	Using paddy
Upper level for agriculture soils		50	1.5	100	4	-	

이 각각 25.3, 2.8, 16.7, 0.2 및 0.4 mg kg⁻¹으로 농경지 중금속 오염우려기준 (토양환경보전법시행규칙, 2009.6) 보다 카드뮴을 제외하고는 낮은 경향을 보여 복원의 효과가 인정되었다. 그러나 우리나라의 일반 농토양의 비소, 카드뮴, 구리, 니켈, 납, 아연의 평균함량은 각각 0.87, 0.08, 3.33, 1.19, 4.95 및 4.67 mg kg⁻¹ (Kim et al., 2008) 보다 높았다. 광산폐수의 직접적인 영향을 받는 지표수를 관개수로 이용하는 SI에서 매우 높은 중금속 함량이 나타났음을 알 수 있으며, 1차 소류지 (백안지: R1)을 통과한 SII지점의 중금속함량은 SI지점에 비해 약50%수준이었다. 2차 소류지 (마홀지: R2)를 통과한 SIII에서 일반 농토양의 중금속 평균함량과 비슷한 수준으로 나타났다. 이는 소류지에 의한 희석효과와 자연정화에 기인한 것이라고 사료된다.

중금속 함량의 수직 분포 특성 광산주변지역 토양오염의 원인은 광산폐수와 기반암의 영향으로 구분할 수 있으며, 심토에 비해 표토에서 중금속함량이 높을 경우 광산폐수 또는 광미·광재적치물의 비산에 의한 영향으로 볼 수 있다. 본 조사지역 광산 인근 농경지 중금속 함량의 수직분포는 Fig. 2와 3과 같다. 최상류 지점인 광산에서 600m 지점 (SI)의 경우, 구리는 토심 16cm 상부 토층에 대부분이 분포되어 있었고, 크롬과 납 및 철은 토양 pH가 낮았던 최상부 토층인 0-13 cm부위에 가장 높은 함량을 보였다. 알루미늄은 표토 (0~13 cm)에서 높은 경향을 보였으나 전층을 통하여 고루 분포하였다. 반면, 카드뮴과 아연, 니켈은 토심 16-60 cm 부위에서 높은 함량을 보였다. 특히, 카드뮴의 함량은 16-49 cm토심에 대부분 분포하였는데 이는 Jung et al. (2001)이 Cd는 토심 40-60 cm에 가장 높은 함량을 보였다는 보고와 유사한 결과였다. 토양의 토심별 중금속함량은 표토 0-15 cm에서 42-51%를 나타내었고 16-30 cm에 21-29%, 31-60 cm에 12-17%, 61-100 cm에 11-15% 분포되어 있으며 중금속의 63-80%는 토심 30 cm 이내에 분포한 보고 (Lee et al., 1994)와도 유사한 결과를 보였다.

카드뮴, 아연, 니켈 및 망간은 표토보다 오히려 토심 16-60 cm 부위에 높은 함량을 보였다. 아연광산 주변 농경지의 중금속함량 수직분포가 대부분 표토 (0-30 cm)에 집적되며 토심 30 cm이하에서는 토심에 따른 감소가 유의성이 없다고 보고 (Park et al., 2001) 한 바 있고, 가학광산의 경우 Cu, Cr, Pb은 표토에서 높은 함량을 나타낸다는 보고 (Jung et al., 2001)와 유사하였다. 1차 저수지 (백안지)를 통과한 물을 관개한 논, 즉 1200 m지점 (SII)의 토심별 중금속 함량 분포양상도 600 m 지점 (SI)과 비슷한 양상을 보였는데 즉 카드뮴, 니켈, 망간은 토심 21-31 cm에서, 구리, 크롬, 납은 0-6 cm의 표토에, 높은 함량을 보였다. Jung et al. (2000)은 폐광산 주변 농토양 중 중금속의 수직분포는 광산에 따라 서로 다르고 특성을 보이고 이는 토양 pH와 관련성이 높다고 하였다. 그리고 본 연구에서 중금속함량 수직분포 특성은 카드뮴의 경우 옥천광산과, 납과 구리는 충북 단양의 조일광산 (Jung et al., 2000)과 비슷한 특성을 보였다. 토양 내 이온상태로 이동하는 중금속은 매질인 물의 특성에 영향을 받으며, 농경지인 경우 작토층 인 표토에 대부분이 분포하며, 일반적인 토층내의 이동성은 Cd>Cu>Pb의 순서라는 보고 (Jung et al., 2000; Lee et al. 2001)를 미루어 볼 때 카드뮴은 심토에, 구리와 납은 표토에 함량이 높은 것으로 사료된다.

토양 중금속의 원소간 상관 본 광산 인근 토양의 각 중금속 원소간의 상관관계는 Table 4와 같다. 주채광물인 Cu는 Al, Pb, Fe와는 매우 높은 정의 상관성이 인정되었고 Cd, Ni, Mn, Cr과는 상관성이 인정되지 않았다. Zn은 Al, Fe, Cu와는 매우 높은 상관성이 인정되었고 Pb와는 높은 상관성이 인정되었다. 따라서 주 채광금속인 아연과 구리는 타 원소에 비해 높은 상관 (0.799)을 보였다. 반면 Ni는 Al, Pb, Fe와는 높은 부의 상관성을 보였다.

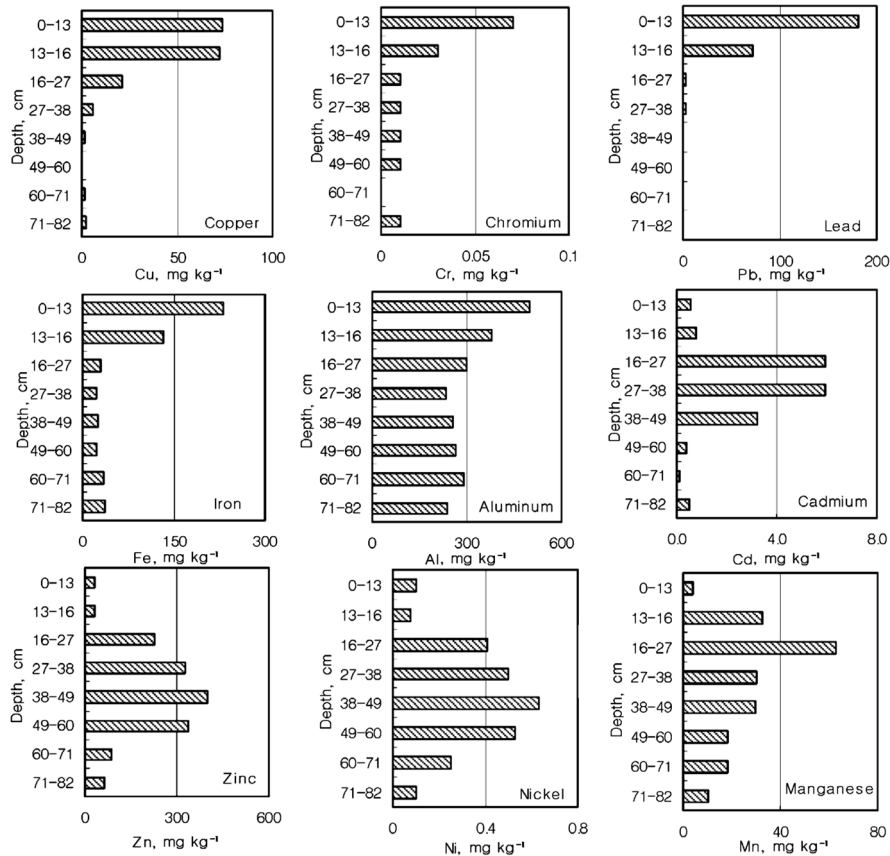


Fig. 2. Vertical distribution pattern of the heavy metals contents treated by 0.1N HCl in the abandoned paddy soils of the sampling Site SI (See to Fig. 1).

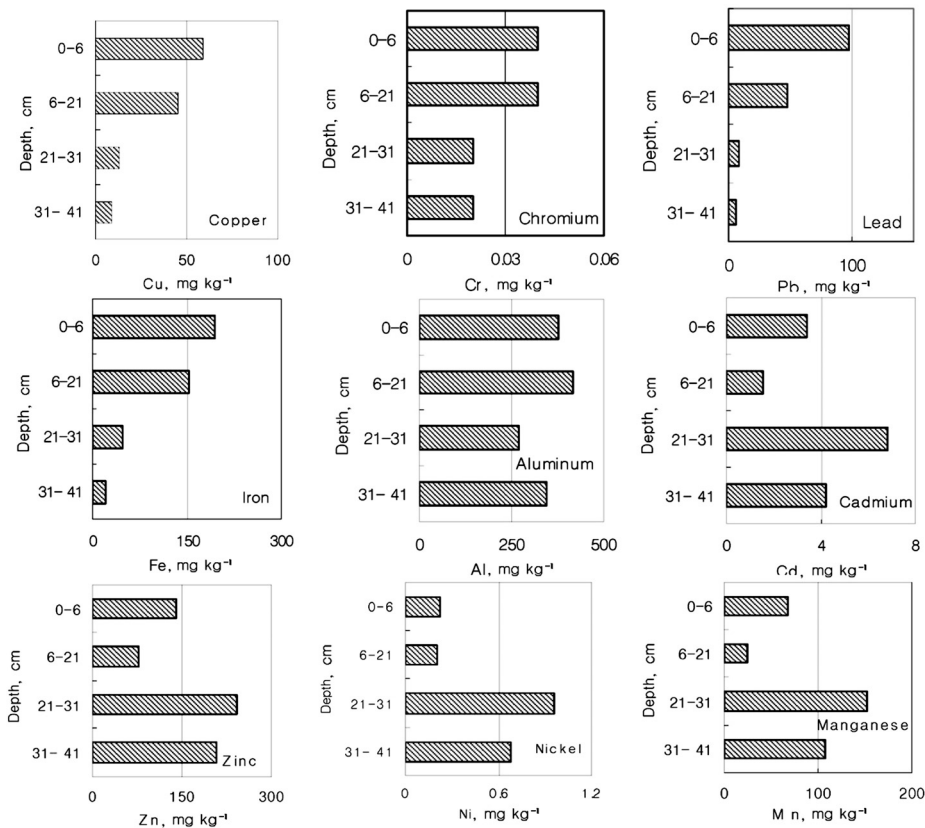


Fig. 3. Vertical distribution pattern of the heavy metal contents treated by 0.1N HCl in the abandoned paddy soils of the sampling site SII (See to Fig. 1).

Table 4. Correlation coefficient among the trace elements extracted by 0.1 N HCl (n=24).

Elements	Zn	Al	Cd	Pb	Fe	Ni	Mn	Cr
Al	0.514**							
Cd	ns	ns						
Pb	0.413*	0.662**	ns					
Fe	0.489**	0.736**	ns	0.490**				
Ni	ns	-0.409*	0.466**	-0.499**	-0.386*			
Mn	ns	ns	0.565**	ns	ns	ns		
Cr	ns	0.522**	ns	ns	0.599**	-0.432*	0.373*	
Cu	0.799**	0.785**	ns	0.579**	0.740**	ns	ns	ns

*significant at P<0.05, **significant at P<0.01. ns = non significant.

요 약

토양오염 방지사업에 의해 복원이 완료된 지역인 밀양시 구운동광산의 오염원인 잔존 광미 퇴적지의 광미와 주변 농경지에 대한 오염형태를 조사하여 환경 복원의 기초 자료를 얻고자 수행하게 되었다. 본 연구 대상지는 경남 밀양시 무안면 마흘리 구운동 광산 주변 수계 및 토양으로 조사지의 지질은 신라통 안산암질이며 광산의 광상은 함유 황광으로 주 채굴금속은 금, 은, 동, 납, 아연이었으며, 잔존 광미 퇴적지의 광미와 주변 농경지의 중금속을 분석하였다. 광구 직하류 휴경논 표토 (0-16 cm)의 화학성은 pH는 4.3-4.4내외, 치환성석회 및 고토함량은 각각 0.2 및 0.04 cmol_c kg⁻¹ 인 반면 토심이 깊어질수록 높아졌다. 광구수 및 광미 적적장 유출수의 직접 영향은 받는 최상류 퇴적토양(SI)의 0.1N HCl 가용성 Cu, Cd, Pb, Cr 및 Ni의 함량은 각각 97, 0.6, 197, 0.28 및 0.12 mg kg⁻¹이었고, 최하류 논 (SIII)의 경우 Cu 25, Cd 2.8, Pb 16.7, Cr 0.17 및 Ni 0.44 mg kg⁻¹이었다. 휴경지 논 토양 토심별 중금속 함량은 Cr, Pb, Cu는 토심 16 cm 상부에서, Cd, Ni는 토심 16-60 cm 부위에서 높은 분포특성을 보였다.

인 용 문 헌

Jeon, S.R., J.I. Chung, and D.H. Kim. 2002. Environmental effects from natural water contaminated with acid mine drainage in the abandoned Backun mine area *Econ. Environ. Geol.* 35:325-337.

Jung, G.B., W.I. Kim, K.H. Moon, and I.S. Ryu. 2000. Fractionation and availability of heavy metals in paddy soils near abandoned mining areas. *Kor. J. Environ. Agric.* 19:319-323.

Jung, G.B., W.I. Kim, K.R. Park, and S.G. Yoon. 2001. Vertical distribution of heavy metals in paddy soil near abandoned metal mines. *Kor. J. Environ. Agric.* 19:

319-323.

Jung, M.C., M.Y. Jung, and Y.W. Choi. 2004. Environmental assessment of heavy metals around abandoned metalliferous mine in Korea. *Econ. Environ. Geol.* 37:21-33.

Kim B.Y. 1998. Countermeasure on agri-environmental pollution. *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 31:121-129.

Kim J.U., H.S. Moon, Y.G. Song, and J.H. Yoo. 1999. Chemical forms of heavy metals elements in mine wastes, stream sediments and surrounding soils from the Gubong mine, Korea. *Econ. Environ. Geol.* 32:261-271.

Kim, W.I, and M.S. Kim. 2008. Long-term monitoring of heavy metal contents in paddy soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41:190-198.

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 1964. The geological map of Korea -Yeongsan map-, sheet 6920-III.

Lee, M.H., H.I. Yoo, and Y.S. Se. 1994. Vertical distribution of heavy metals in paddy soil adjacent to lead and zinc mining sites and their relation to soil characteristics. *J. Korean Society of Groundwater Environment.* 1:80-84.

Lee, S.H. and J.Y. Jung. 2004. Geo-chemical characteristics of soil solution from the soil near mine tailing dumps and the contamination assessment in Duckum mine. *Econ. Environ. Geol.* 37:61-72.

Ministry of Environment, 1999, Standard test method for soil pollution.

Min J.S., Y.U. Jung, H.J. Lee, and D.M. Lee. 2000. A study on the environmental & safety problems and their remediation around mining areas. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources research report. 1999-R-T108-P-20.

NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 1988. Methods of soil chemical analysis.

Park, Y.S. and J. Kim. 2001. A study on the horizontal and vertical distribution of heavy metal elements in slime dump from Dukum mines, Korea. *Econ. Environ. Geol.* 33:91-100.

YARI(Yeongnam Agriculture Research Institute). 1997. Survey on heavy-metal contamination in soils polluted from mining water. YARI research report. 707-717.