

유용식물을 이용한 오염토양 정화기술 개발*¹⁾

이 상환 · 이 문용 · 현 승훈 · 윤 영만 · 김 정규 · 임 수길

고려대학교 농화학과

Remediation of Polluted Soil by Plant*

Sanfan Lee · Munyong Lee · Seunghun Hyun · Youngman Yoon
Jeunggyu Kim · Sookil Lim

Dep. of Agricultural Chemistry, Korea Univ.

요약문

광산지 및 쓰레기매립지의 오염토양을 정화하는데 식물의 이용가능성을 평가하기 위하여 강원도, 경상북도 지역에 분포하는 17곳의 폐광산과 강원도에 분포하는 농촌형 일반 쓰레기매립지 6곳을 대상으로 광산지와 매립지의 토양 특성을 조사하고, 서식 식물종의 오염 물질 제거 능력과 개척종으로서의 가능성을 평가하였다.

광산지 토양의 경우 산성화가 진행된 곳이 많았고, 중금속함유량도 전국 토양의 평균함유량보다 훨씬 높게 나타났으나, 매립지의 경우 약알카리성 토양이 많았고, 광산지와 달리 중금속 오염의 우려는 없었다. 오염토양에 서식하는 식물 포함 14종의 식물체중에서 오염토양정화기술에 이용 가능한 유용식물로 *Aremisia princeps*(쑥), *Micanthus sinensis*(억새), *Oenanthera odorata*(달맞이꽃) 등이 중금속의 흡수력과 지상부로의 이행력이 큰 식물체중으로 나타나 phytoremediation에 있어서 개척종으로 이용가능할 것으로 판단되었다.

주제어 : 광산지, 쓰레기매립지, 오염토양정화기술, 유용식물, 쑥(*Aremisia princeps*)

서론

식물을 이용하여 광산지 및 쓰레기매립지의 오염토양의 정화기술은 중금속이나 독성물질의 축적, 독성물질의 전환, 미생물에 의한 분해를 위한 전 단계로서 식물뿌리에 의한 흡착, 고정, 흡수에 초점이 있다. 유용식물을 이용한 토양으로부터의 오염물질의 제거를 위해서는 이러한 기능들이 양호한 식물의 선발이 중요하다. 일반적으로 오염물질의 흡수·제거는 목본류를 이용하는 것으로 알려져 있으나 목본류에 비하여 초본류의 생육속도가 훨씬 빠르기 때문에 오염토양에 초본류의 식피를 조성하고 이후에 목본을 투입하는 것이 합리적이다.

1 * 본 연구는 교육부 거점연구소 지원 연구과제인 '유용식물을 이용한 오염토양 정화기술 개발'의 일부입니다.

재료 및 방법

- (1) 조사대상지역 - 광산지(강원도와 경상북도에 위치한 폐광산 17곳), 매립지(강원도에 위치한 농촌형 일반 쓰레기 매립지 6곳)
- (2) 조사식물체 - 쭉외 14종
- (3) 분석방법 - 토양분석 : 토성(pipetting법), pH(1:5), 유기물(Turin법), 전질소(kjeldahl법), 유효인산(brayNo.1법), 양이온 치환용량(1N-NH₄⁺치환후 증류정량법), 석회소요량(ORD), 중금속함량(0.1N HCl침출법) - 식물체 중금속분석 : Ternary solution (HNO₃ : H₂SO₄ : HClO₄ = 10 : 1 : 4)으로 습식분해한 후 원자흡광광도계로 측정

결과 및 고찰

(1) 조사 광산지와 매립지토양의 이화학성 분석

Table 1과 2는 광산지와 매립지 토양의 이화학적 특성을 보여주고 있다. 광산지의 경우 일반적으로 pH가 산성으로 기울어져 있었으며, 특히 옥동2, 태흥2, 장성, 일광에서는 산성화가 많이 진행되어 있었다. 그러나 매립지의 경우는 신천을 제외하고는 pH가 7~8로 정도로 약알카리성을 보였다. 만세항, 함백의 경우는 유기물의 함량이 높았는데 이는 석탄광들로 토양중의 무기탄소의 함량이 높았기 때문인 것으로 생각된다.

Table 1. 광산지토양의 이화학성 분석

Site	Soil Texture (USDA)	pH (1:5)	O.M (%)	T-N (%)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	CEC	Ca Mg K Na				Lime requirement (CaCO ₃ kg/ha)
							cmol(+)/kg				
Keudo 1	SiC	6.33	0.79	0.03	6.05	16.80	6.43	0.12	0.64	0.12	88
Keudo 2	SL	7.35	0.36	0.09	3.12	5.56	8.01	1.53	0.25	0.16	70
Keudo 3	LS	6.68	0.50	0.12	1.47	1.50	0.74	0.06	0.06	0.11	88
Okdong 1	SCL	5.10	10.79	1.53	1.19	7.22	1.63	0.16	1.02	0.13	245
Okdong 2	SCL	2.76	8.27	0.07	4.14	9.27	0.18	0.15	0.90	0.12	350
Tehung 1	SC	7.46	5.40	1.32	3.30	2.25	4.08	0.08	1.56	0.31	35
Tehung 2	SCL	3.92	0.36	0.11	7.43	7.01	1.36	0.33	0.83	0.36	193
Asia 1	S	6.43	0.58	0.07	27.42	2.13	0.33	0.06	0.08	0.11	70
Asia 2	SL	5.84	0.72	0.09	66.03	2.09	0.40	0.05	0.12	0.12	53
Manschang 1	SCL	7.43	7.19	0.60	5.30	13.98	9.67	0.37	1.49	0.19	70
Manschang 2	SCL	6.35	11.15	1.25	6.44	13.68	4.46	0.46	0.26	0.18	140
Ehung	SCL	6.76	1.80	0.14	36.46	11.68	3.70	2.49	4.63	1.65	105
Jangsung	SiCL	3.72	9.35		4.33	7.76	9.31	0.18	0.29	0.12	298
Yonhwa	SL	7.26	0.86	0.03	4.06	2.04	1.61	0.27	0.35	0.11	88
Ilkwang	LS	3.76	0.29	0.13	9.18	3.47	0.21	0.06	0.52	0.12	158
Hambek	SCL	6.68	11.51	0.96	20.83	7.55	5.81	0.21	2.38	0.13	88
Mulkum	SL	6.72	0.94	0.10	8.65	10.65	8.21	0.76	0.90	0.29	105

(2) 조사 오염지역의 중금속 함량

오염지의 중금속의 함량은 Table 3과 4와 같다. 광산지의 경우 전국 토양의 자연함유량인 Cu(14.92 ppm), Cd(0.152ppm), Pb(15.38ppm), Zn(31.81ppm)보다 훨씬 높게 나타났으며, 매립지의 경우는 자연함량수준과 큰 차이를 보이지 않았다. 광산지중의 옥동2, 태흥2, 장성, 일광은 Al 함량(ppm)이 106.39, 181.23, 72.64, 141.60으로 매우 높았으며 이들 광산에서 특징적으로 pH가 낮은 것은 Al에 의한 토양산성화로 여겨진다.

Table 2. 매립지토양의 이화학성 분석

Site	pH	O.M (%)	T-N (%)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	CEC	Ca Mg K Na			
						cmol(+)/kg			
Tansi	7.64	5.53	0.23	69.90	9.65	6.70	1.33	1.27	0.31
Goam 1	7.22	0.83	0.03	25.23	5.03	2.92	1.47	0.53	1.78
Goam 2	7.54	0.68	0.07	54.66	5.68	3.26	1.06	0.93	2.27
Sabuk	8.27	6.31	0.06	69.64	2.60	7.18	0.41	0.31	0.25
Yungge	6.03	1.50	0.07	7.88	8.85	4.73	5.67	0.19	1.45
Sagok	6.68	0.52	0.03	29.17	1.90	1.05	0.47	0.21	0.20
Sinchon	5.98	0.54	0.02	16.29	5.30	1.94	1.46	0.06	0.32

Table 3. 광산지 토양의 중금속 함유량

Site	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Cr
Keudo 1	2.68	1.75	2.36	14.87	328.99	1.11	1.85
Keudo 2	0.89	7.00	1.61	30.28	264.54	1.14	1.85
Keudo 3	1.03	8.54	1.61	66.24	591.21	1.23	1.23
Okdong 1	74.59	8.36	4.32	8.54	5.26	0.97	0.31
Okdong 2	106.39	39.76	1.29	4.50	4.53	1.09	0.46
Tehung 1	2.62	21.41	0.14	57.31	1.50	1.09	5.09
Tehung 2	181.23	9.38	41.22	106.42	19.77	1.07	0.62
Asea 1	2.86	5.71	0.75	2.39	38.61	1.77	0.46
Asea 2	13.60	5.10	0.69	68.86	189.18	1.25	1.08
Mansehang 1	1.18	0.09	0.22	0.72	0.89	0.96	0.31
Mansehang 2	1.76	20.18	78.72	153.76	2634.10	3.24	1.39
Ehung	1.83	9.68	3.05	61.91	811.93	1.65	2.16
Jangsung	72.64	8.67	1.26	8.59	6.21	1.01	0.31
Yonhwa	2.49	0.18	13.43	382.68	41.28	5.89	0.15
Ilkwang	141.60	9.79	2.01	12.50	24.55	1.33	0.15
Hambek	1.97	2.27	0.50	344.40	262.95	1.36	0.93
Mulkum	1.54	9.68	5.46	3.58	76.99	3.40	2.47

Table 4. 매립지토양의 중금속함유량

Site	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni
Tansi	1.79	31.17	147.25	0.88	2.04
Goam 1	0.22	1.37	3.28	N.D	N.D
Goam 2	0.22	2.74	7.10	0.18	N.D
Sabuk	0.56	68.01	21.01	0.71	1.49
Yungge	0.17	1.65	7.09	N.D	0.45
Sagok	0.02	0.73	1.84	N.D	N.D
Sinchon	0.13	0.27	2.87	N.D	0.23

(3)오염지의 서식 식물체 분석

Table 5. 조사광산지역 초본식물체의 중금속함량

Site	Plant	Plant part	Metal content (mg/kg)							
			Cd	Total	Cu	Total	Zn	Total	Cr	Total
Keodo	<i>Persicaria hydropiper</i> (여뀌)	leaf, stem	1.53	6.13	40.88	154.09	50.36	101.03	10.85	188.13
		root	4.60		113.21		50.67		177.28	
Yonhwa	<i>Aremisia princeps</i> (쑥)	leaf, stem	17.15	40.01	34.01	71.67	77.68	451.79	22.99	45.98
		root	22.86		37.66		374.11		22.99	
Asea	<i>Aremisia princeps</i> (쑥)	leaf, stem	5.33	11.25	42.33	123.28	38.90	858.20	57.48	80.47
		root	5.92		80.95		46.30		22.99	
Okdong	<i>Amaranthus magostanus</i> (비름)	leaf, stem	2.37	5.92	26.48	66.51	105.75	314.50	28.74	80.46
		root	3.55		40.03		208.75		51.72	
Ilkwang	<i>Ranunculus japonicus</i> (미나리 아재비)	whole plant	3.55	3.55	61.28	61.28	58.43	58.43	22.99	22.99
		<i>Aremisia princeps</i> (쑥)	whole plant	7.62	7.26	27.94	27.94	63.40	63.40	11.49
Ehung	<i>Micanthus sinensis</i> (억새)	whole plant	1.19	1.19	23.08	23.08	88.13	88.13	57.47	57.47
		<i>Dianthus sinensis</i> (패랭이꽃)	whole plant	5.72	5.72	405.73	405.73	65.14	65.14	86.21
Tehung	<i>Micanthus sinensis</i> (억새)	whole plant	8.29	8.29	20.18	20.18	169.85	169.85	11.49	11.49
		<i>Aremisia princeps</i> (쑥)	leaf, stem	3.07	5.37	39.83	114.25	118.85	259.52	21.71
root	2.30		74.42	140.67		10.85				
Hambek	<i>Oenanthera odorata</i> (달맞이꽃)	leaf	3.07	9.20	25.16	109.01	83.53	320.32	N.D	25.32
		stem	2.30		32.49		66.03		10.85	
		root	3.83		51.36		170.76		14.47	

Table 5과 6은 오염지에 서식하는 식물체중의 부위별 중금속의 양을 보여준다. 일반적인 중금속의 부위별 분배경향은 뿌리에서 높았는데, 이는 뿌리털에 의한 중금속의 흡착이 크게 기여하는 것으로 보인다. 조사 식물종중에서 중금속 흡수력과 지상부로의 이동성이 좋은 식물종은 *Aremisia*

princeps(쑥), *Micanthus sinensis*(억새), *Oenanthera odorata*(달맞이꽃)으로 나타났다. 특히 *Aremisia princeps*(쑥)은 중금속 흡수, 축적량이 높았다.

Table 6. 조사매립지의 식물체 분석

Site	Plant	Plant part	Metal content (mg/kg)							
			Cd	Total	Cu	Total	Zn	Total	Cr	Total
Tansi	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> (명아주)	leaf,stem	3.83		44.03		103.19		N.D	
		root	3.83	7.66	27.25	71.28	80.47	183.66	N.D	N.D
	<i>Xanthium strumarium</i> (도꼬마리)	leaf	3.07		28.51		159.76		N.D	
		stem	3.68	12.12	25.16	95.50	296.31	604.71	N.D	18.09
		root	5.37		39.83		148.64		18.09	
Goam	<i>Aremisia princeps</i> (쑥)	leaf	2.37		41.54		69.95		N.D	
		stem	2.84	9.00	34.12	14.094	52.73	185.52	N.D	N.D
		root	3.79		65.28		62.84		N.D	
Yungge	<i>Cyperus microria</i> (금방동사니)	leaf	2.96		31.53		78.89		N.D	
		stem	4.14	10.06	37.09	113.13	95.63	265.37	4.41	88.18
		root	2.96		44.51		90.85		83.77	
	<i>Aremisia princeps</i> (쑥)	leaf	N.D		40.80		84.70		N.D	
		stem	1.18	3.55	31.53	118.69	60.11	214.48	N.D	13.23
		root	2.37		46.36		69.67		13.23	
Sagok	<i>Persicaria hydropiper</i> (여뀌)	leaf	1.18		25.96		73.77		N.D	
		stem	3.79	5.56	28.19	98.66	60.66	205.81	N.D	149.91
		root	0.59		44.51		71.38		149.91	
	<i>Disitaria sanguinalis</i> (바랭이)	leaf,stem	2.96	6.51	35.24	81.60	104.17	211.41	N.D	N.D
		root	3.55		46.36		107.24		N.D	
		<i>Erigeron Canadensis</i> (망초)	leaf,stem	3.68	7.36	26.00	69.61	71.74	217.68	N.D
root	3.68			43.61		145.94		31.84		
Sinchon	<i>Setaria viridis</i> (강아지풀)	leaf,stem	4.91	11.81	17.61	75.26	209.33	582.79	11.58	62.23
		root	6.90		57.65		373.46		50.65	
		<i>Aremisia princeps</i> (쑥)	leaf	3.55		48.22		86.75		N.D
stem	2.84		12.31	32.64	119.81	58.20	197.20	N.D	4.41	
root	5.92			38.95		52.25		4.41		

결론

1. 광산지 토양은 산성화가 진행된곳이 많았지만 매립지는 약알카리성 토양이 많았다.
2. 폐광지역의 중금속 함량은 전국토양의 자연함유량보다 훨씬 높게 나타났으며, 매립지의 경우 일반토양의 수준과 큰 차이가 없었다.
3. *Aremisia princeps*(쑥), *Micanthus sinensis*(억새), *Oenanthera odorata*(달맞이꽃)등이 중금속의 흡수력과 지상부로의 이행력이 큰 식물종으로 나타나 phytoremediation에 있어서 개척종으로 이용가능할 것으로 판단되어 진다.

참고문헌

- (1) 이 길철 등, 1992, 오염토양의 정화방법에 관한 연구-식물에 의한 정화방법 연구, 국립환경연구원 보고서, 1-17
- (2) Shephard S.C., C. Gaudat, M.I. Shephard, P.M. Cureton, and M.P. Wong, 1992, The development of assessment and remediation guidelines for contaminated soils, a review of the science, Can. J. Soil Sci., 72:359-395
- (3) Woodbury P.B., 1992, Trace elements in municipal solid waste composts: a review of potential detrimental effects on plants, soil biota, and water quality, Biomass and Bioenergy, 3:239-259