

폐광산 유출수에 의한 오염 특성 및 주변 식생 조사

조경식 · 류재근 · 이호식 · 전태성

충주대학교 환경공학부

Investigation of Vegetation and Contamination Characteristic by Abandoned Mine Discharge

CHO, Kyeong Sik · Jae Keun RYU · Ho Sik LEE · Tae Sung JUN

Department of Environmental Engineering, Chungju National University, Chungbuk 380-702, Korea

ABSTRACT

The research was conducted in the regions where abandoned mines are distributed in 'Kangwon' province. It was found that the annual average rainfall in 'Jungsun' county with in Kangwon province was 1,314mm and the average temperature was 18°C in year 2009. 'Jieok' mountain and 'Mindong' mountain are located in the region where discharged the water and stream from the abandoned mines were monitored monthly from June 2009 until October 2009. Additionally soil and vegetational distribution were analyzed within a radius of 1km from the abandoned mines. The stream flow fluctuation of dry season and rainy season was rough. When we compared the average concentration between the upper region and abandoned mine's discharge, the concentration of discharge appeared highly about 20 times (Zn), 80 times (Mn). According to water quality analysis the concentration of Mn and Zn were relatively high. This area is composed of cave(2.9%), land(5.7%), road(5.7%), fields(39%), forests(40%) and other area(6.7%). Field and other area contained high level of As, near roads and field contained high level of Ni. It appeared that amount of Zn in various area exceeded both critical criteria and concerned criteria. As a result *Quercus mongolica* community took up 51%, *Pinus densiflora* community took up 25% and *Pinus densiflora-Quercus mongolica* community took up 18% of the research site. It was found that *Quercus mongolica* community tend to show highest number out of all the vegetative population. There were 16~32 different species found in *Quercus mongolica* community and 29 different species found in *Pinus densiflora* community. Also, there were 20 different species found in *Pinus densiflora-Quercus mongolica* community.

Key Words : abandoned mine, discharge, heavy metal, acid mine drainage, vegetation

서 론

18세기 산업혁명과 함께 성장해 온 광업은 현재까지도 인류에게 수많은 자원을 제공하며, 삶의 질을

향상시킨 전인차로써의 역할을 하였다(양 등, 2007). 1980년대 이후 급속한 경제성장과 산업화가 이루어지면서 광물자원에 대한 채산성이 맞지 않아 대부분 광산이 휴·폐광 되었다. 전국에 산재된 폐광산의 수는 폐석탄 광산 340개와 폐금속 광산 936개, 총 1,276개로 추정되고 있으며, 가행 중인 금속 광산은 52개이다(환경부, 2006). 휴·폐광산의 갱구로부터 유출되는 광산배수는 산성수이면서 중금속을 다량 함유하고 있으며, 주변 수계 또는 토양으로 유출되고 있다(정 등, 1997). 수중에 유입된 화학적 오염물질은 정적인 상태로 남아 있지 않고 일부 다른 합성물로 전환이 되며, 중금속들은 분해되지 않아 지속적으로 독성을 나타낼 수 있다. 또한, 독성이 낮은 물질이 위험한 독성물질로 전환될 수도 있다(만 등, 2000). 폐광산의 경우, 산성 광산 배수(acid mine drainage)에 의한 중금속 유출로 주변 토양오염 및 인근에 재배되는 농산물의 오염, 중금속의 생물 농축 우려 등 식생에 악영향을 미친다는 점에서 큰 문제가 되고 있다(사공준, 2008). 폐광산에서 발생된 광미, 폐석 등은 광산 주변에 부적절하게 방치되어 있다가 강우시 유출되어 주변 토양과 하천 등을 오염시키며, 이렇게 유출된 중금속은 먹이사슬을 통해 결국 인체에 유해한 영향을 끼친다(이 등, 2006). 현재 환경부 및 정부의 관계기관들이 심각성을 느끼고, 토양오염 조사 및 오염에 대한 대처방안을 마련하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 폐광산 유출수가 수생태계 및 토양오염에 미치는 영향을 조사하고, 주변 식생에 대한 조사를 통해 폐광산 유출수에 의한 오염 특성을 검토하였다.

조사시기 및 방법

1. 조사지점 개황 및 시기

폐광된 광산이 많이 분포한 강원도 지역을 연구조사 대상으로 하였으며, 이 가운데 갱내수가 유출되고 있는 정선군 남면 무릉리에 위치한 동남광산을 선정하여 조사를 실시하였다(Fig. 1). 정선지방의 2009년 평균 강우량은 1,314mm, 평균 기온은 18℃로 조사되었다(정선군, 2009). 갱구 좌측편으로 지역 산과 서남쪽 부근 민동산이 위치해 있으며, 위치 좌표는 경도 128°47'31.7", 위도 37°17'14.3"이고, 채굴한 광종은 철(Fe)로써 2001년에 소멸되어 현재까지 방치된 상태이다(환경부, 2007a). 2009년 7월부터 10월까지 월마다 1회씩 유출수 및 영향 하천에 대한 모니터링을 실시하였고, 갱구를 기점으로 하류 방향 반경 1km 내의 토양 오염도와 현장답사 및 문헌조사에 의한 식생분포 및 식물군 조사를 실시하였다(Fig. 2).

2. 조사방법

1) 수질조사 방법

광산유출수 및 영향하천의 수질 시료 채취는 수질오염공정시험방법(환경부, 2008)에 준하여 채취하였고, 2L 무균채수병을 이용하여 가능한 불순물이 들어가지 않도록 주의하며 채취하였다. 채취한 시료는 즉시 측정하는 항목 이외에는 Andrew 등(1995)의 시료보관방법에 준하여 신속히 운반하여 분석을 실시하였다(Table 1). 수질분석 항목은 pH, 수온, DO, EC, TSS, 탁도, 경도, Alkalinity, Cl^- , SO_4^{2-} , TN, TP, Ca, Mg, Na, K, Heavy Metal 등 총 27개 항목을 분석하였다. 또한, 모든 분석은 수질오염공정시험방법에 준하여 실시하였다(환경부, 2008).

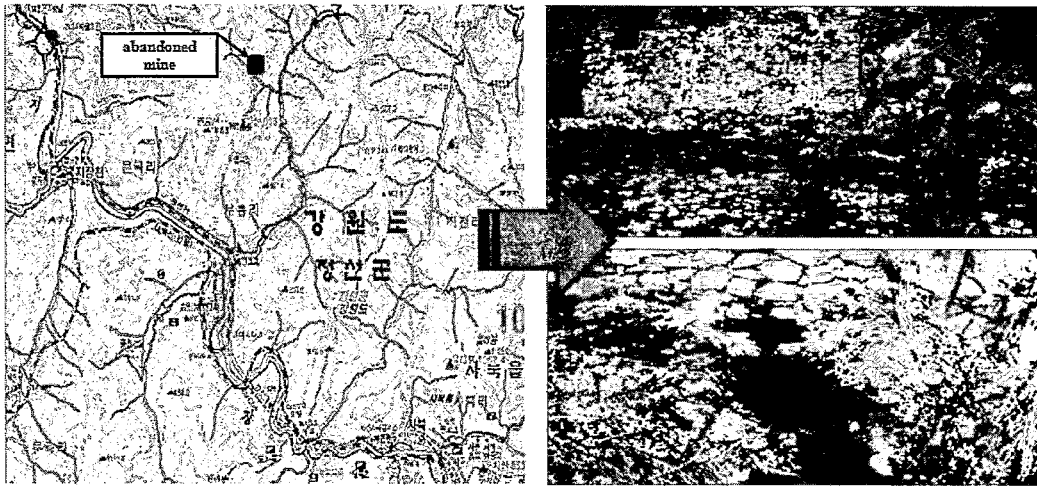


Fig. 1. Location of avandoned mine.

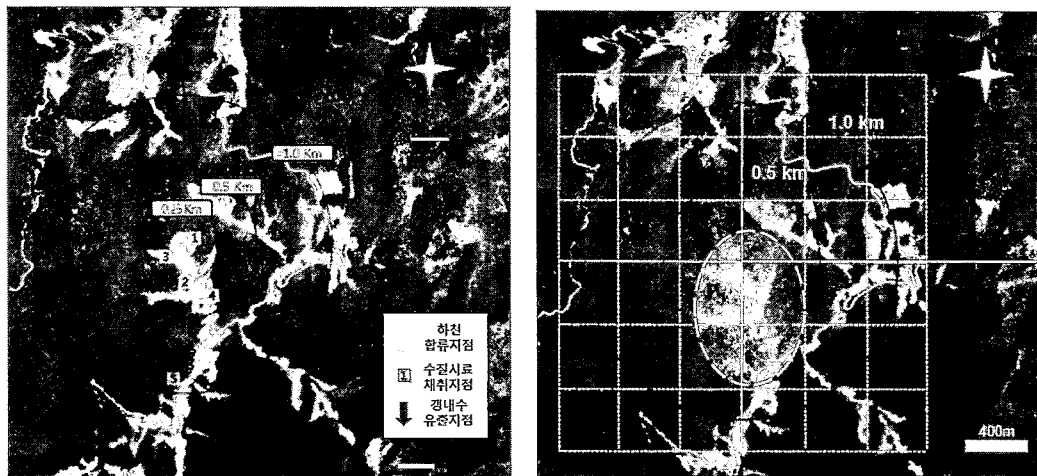


Fig. 2. Investigation area of water quality and soil contamination characteristic.

2) 토양조사 방법

대상지역의 토양시료는 지점을 대표할 수 있는 곳을 선정하여 토양오염 공정시험방법에 준하여 시료를 채취하였다. 또한, 토양 표면의 잡초나 유기물 등 이물질 층을 제거한 후 토양시료채취기로 약 0.5 kg 채취하였다(환경부, 2007c).

3) 주변 식생군락 조사

조사지역 주변의 식생분포를 알아보기 위해 식물의 종을 동정(Identification)하여 정리하였으며, 현장에서 표본을 채취하고, 촬영된 사진과 비교하면서 국가생물종지식정보시스템(Nature)과 James &

Table 1.. Preserving method of analysis sample

Determination	Container	Preservation	Maximum storage recommended / regulatory
Temp.(°C)	P,G.*	-	stat/stat
pH	P,G.	-	2h/stat
Turbidity	-	-	24h/48h
DO	-	-	8h/8h
Conductivity	P,G.	4 °C, refrigerate	24h
TSS	P,G.	4 °C, refrigerate	7d
Hardness	P,G.	4 °C, refrigerate	28d
Alkalinity	P,G.	4 °C, refrigerate	14d
Anion	P,G.	4 °C, refrigerate	28d
Cation	P,G.	4 °C, refrigerate	28d
T-N	P,G.	4 °C, add H ₂ SO ₄ to pH<2	28d(7d)
T-P	P,G.	4 °C, add H ₂ SO ₄ to pH<2	28d(7d)
Heavy metal	P,G.	c-HNO ₃ 2 ml/ℓ	6months

*P: Polyethylene, G: Glass

David(1998)을 참고하여 분류목록을 작성하였다. 또한, 방형구(releve)의 크기를 15×15m²로 정하였고, 환경부의 제3차 전국자연환경 조사지침서에 따라 조사를 실시하였다(환경부, 2007b).

결과 및 고찰

1. 광산주변 현황

갱구 주변 하류지점을 관찰하였을 때 토양 산성화의 영향으로 인하여 하천에 황화현상이 나타났다. 또한, 갱구 주변 광물 제련을 통한 폐석과 광미더미가 존재하며, 대부분 나지 형태로 방치되어 있어 식생대가 존재하기에는 적절치 않은 것으로 나타났다(Fig. 3).

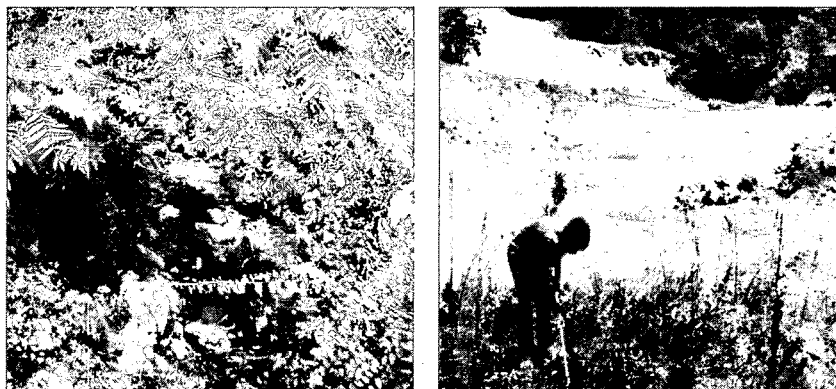


Fig. 3. Pictures of the cave around and chlorosis.

2. 수질분석 결과

수질분석 결과는 Table 2에 나타내었다. 하천의 경우 우기와 건기의 유량변동이 심한 것으로 나타났다으며, 평상시 하천은 건천으로서 강우시에만 유출이 되는 것으로 조사되었다. 분석 결과, 이화학적 물질은 계절적 변동이 없고 일정한 상태였으며, 중금속의 경우 상류인 Site 3 지점과 유출수인 갯구 (Site 1, Site 2)의 평균 농도를 비교하였을 때 갯구 유출수에서 Mn은 약 80배, Zn는 약 20배의 높은 농도를 나타냈다. 갯구 유출수와 하류 조사지점의 Mn, Zn의 농도가 또한 다른 중금속에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

Table 2. Result of water quality analysis

Day	Site 1					Site 2				
	6/4	7/9	8/14	9/23	10/7	6/4	7/9	8/14	9/23	10/7
Flow rate (m ³ /d)	37.5	126.3	97.8	17.70	14.31	-	-	-	-	-
Temp. °C	11.3	12.6	11.5	11.8	10.6	10.7	14.1	13.8	11.8	10.8
pH	7.7	7.8	6.9	7.8	6.5	7.2	6.6	8.2	7.6	8.2
Cond. mS/cm	0.79	0.616	0.7	1.027	0.669	1.222	1.307	1.492	1.746	1.096
TSS mg/L	1.8	0.4	0.2	0.4	1.2	10.4	25.2	1.0	33.2	18.0
Turb. NTU	2.2	3.4	0.9	0.5	0.8	4.0	15.4	2.8	12.0	6.7
Hardness	424.32	353.20	357.22	459.36	509.20	681.02	619.58	787.76	868.75	848.13
Alkalinity	145.4	136.0	144.0	156.0	149.0	110.8	130.0	102.0	136.0	121.0
DO	6.8	8.1	10.2	8.3	8.7	6.8	5.2	6.1	6.3	7.5
TN	2.15	2.61	3.52	2.48	2.11	2.18	1.69	3.18	2.46	2.15
TP	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.05	0.85	0.16	0.25
Cl	1.35	2.18	3.18	2.11	2.89	2.68	3.15	2.47	1.48	2.14
SO ₄	113.05	81.18	305.81	332.09	312.04	620.25	384.14	628.24	721.08	691.84
Ca	132.96	113.73	118.12	147.36	153.38	226.79	208.28	269.22	294.2	275.82
Mg	22.06	16.53	14.86	21.83	30.18	27.37	23.73	27.53	31.98	38.06
Na	1.2	1.0	0.94	1.77	1.65	8.06	4.42	5.54	8.03	8.2
K	1.08	0.9	0.89	1.14	1.15	1.53	2.09	1.55	1.4	1.35
Al	N.D.	N.D.	0.024	0.024	0.028	N.D.	N.D.	0.047	0.049	0.042
Fe	N.D.	N.D.	0.007	0.014	0.016	N.D.	N.D.	0.01	0.026	0.029
Cd	N.D.	N.D.	N.D.	0.002	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	0.002	0.002
Pb	0.002	0.002	N.D.	N.D.	0.002	0.002	0.002	N.D.	0.001	0.011
As	N.D.	N.D.	0.46	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.39	0.003	N.D.
Hg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cr	N.D.	N.D.	N.D.	0.004	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.004
Cu	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mn	N.D.	0.009	0.056	0.011	0.015	0.201	1.004	2.329	3.051	2.359
Zn	0.04	0.042	0.379	0.284	0.290	0.016	0.274	0.15	0.212	0.211
Ni	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D. : not detected

Table 2. Continued

Day	Site 3					Site 4					Site 5				
	6/4	7/9	8/14	9/23	10/7	6/4	7/9	8/14	9/23	10/7	6/4	7/9	8/14	9/23	10/7
Flow rate (m ³ /d)	266.4	9787.6	3551.4	-	108.3	699.6	1,6029.8	5.0	2.8	7.13	-	142,806.1	33,880.5	-	-
Temp. °C	11.5	11.2	11.2	13.6	12	11.7	14.6	13.7	12.2	12.1	14	14.1	16.3	18.4	13.8
pH	7.8	7.6	8.8	7.9	7.7	7.2	7.3	8	7.3	8.3	7.3	8	8.6	7.7	8.5
Cond. mS/cm	0.283	0.277	0.309	0.368	0.245	0.476	0.578	0.707	1.225	0.891	0.514	0.401	0.442	0.568	0.394
TSS mg/L	0.2	15.4	0.2	1.2	2.0	0.2	11.2	0.2	0.4	4.0	0.2	28.4	1.0	1.0	0.4
Turb. NTU	0.9	16.8	1.2	1.2	1.5	0.7	4.7	1.1	0.4	0.6	0.3	94.9	1.2	0.8	1.1
Hardness	161.20	166.89	166.06	154.61	180.66	333.93	332.17	356.98	575.63	672.53	271.53	214.85	227.78	228.70	509.20
Alkalinity	123.4	140.0	146.0	164.0	142.0	128.8	136.0	142.0	175.0	157.8	124.2	138.0	142.0	144.0	144.4
DO	5.4	8.5	10.3	5.8	6.3	5.9	6.3	6.1	5.8	6.8	4.8	8.3	9.4	6.9	7.5
TN	6.12	7.34	5.84	7.82	4.25	6.05	7.11	4.87	6.22	4.85	11.41	10.65	5.68	4.85	5.92
TP	0.15	0.34	0.24	0.08	0.03	0.21	0.32	0.05	0.06	0.04	0.21	0.02	0.01	0.01	0.6
Cl	1.54	1.87	2.48	2.74	1.58	2.51	2.78	2.69	3.05	2.74	5.15	4.61	7.15	6.88	5.17
SO ₄	6.85	5.12	7.05	16.81	8.16	231.15	247.23	315.11	213.54	248.61	61.31	45.18	52.04	55.17	61.84
Ca	59.53	62.04	62.39	58.36	66.88	113.04	117.3	125.09	198.02	221.86	93.08	73.59	79.18	80.68	153.38
Mg	2.97	2.83	2.42	2.09	3.23	12.32	9.34	10.62	19.34	28.29	9.32	7.41	7.16	6.48	30.18
Na	0.77	1.91	0.41	1.21	0.45	1.27	2.43	1.33	2.61	3.82	2.25	2.09	1.05	3.11	1.65
K	0.32	0.66	0.31	0.5	0.29	0.87	1.1	0.94	0.95	1.23	1.11	0.92	0.66	1.06	1.15
Al	N.D.	N.D.	0.015	0.024	0.02	N.D.	N.D.	0.025	0.026	0.032	N.D.	0.002	0.025	0.015	0.024
Fe	N.D.	N.D.	0.007	0.017	0.016	N.D.	0.001	0.007	0.014	0.015	N.D.	0.003	0.008	0.014	0.014
Cd	N.D.	N.D.	N.D.	0.002	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	0.002	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	0.002	0.002
Pb	0.001	0.002	N.D.	0.012	0.016	0.001	0.002	N.D.	0.005	0.007	0.001	0.002	0.003	0.009	0.007
As	N.D.	N.D.	0.11	N.D.	N.D.	0.001	N.D.	0.013	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.015	N.D.	N.D.
Hg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cr	N.D.	N.D.	N.D.	0.004	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.004
Cu	N.D.	N.D.	N.D.	0.001	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001	N.D.
Mn	N.D.	N.D.	N.D.	0.028	0.014	N.D.	N.D.	N.D.	0.001	0.003	N.D.	0.003	0.012	0.002	0.005
Zn	N.D.	N.D.	N.D.	0.012	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.074	0.075	N.D.	N.D.	N.D.	0.015	0.006
Ni	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D. : not detected

3. 토양 분석 결과

토양 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 갯구를 기점으로 하류방향 50 m 간격으로 시료를 채취하여 분석을 실시하였으며, 총 96지점의 표토를 채취하여 분석하였다. 조사지점의 시료채취 면적은 131,905 m²로서 갯구 2.9%, 나지 5.7%, 도로 5.7%, 밭 39%, 임야 40%, 기타 지역(폐석장 및 하천) 6.7%를 차지하였다. 분석 결과, 토양의 pH는 7이하로 대부분 약산성을 띄고 있었으며, 그룹별로 As는 밭과 기타 지역에서, Ni는 도로 주변과 밭에서 높은 농도를 나타내었다. Zn의 경우, 갯구를 기점으로 많은 지역에서 우려 및 대책기준(이 등, 2006)을 넘는 것으로 나타났다.

Table 3. Result of soil analysis

Parameter	Numbers of sample	Research areas (m ²)	pH	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
				Average ± SD (mg kg ⁻¹)							
Cave	3	3,771	6.34±	1.38±	0.75±	0.03±	4.72±	27.88±	0.25±	651.5±	1.09±
			0.52	1.63	0.92	0.04	1.68	32.73	0.19	504.21	0.69
Land	6	7,542	5.77±	2.43±	0.53±	0.03±	3.73±	27.63±	0.36±	543.4±	0.92±
			0.96	6.50	0.11	0.03	1.93	49.49	0.41	192.76	0.51
Road	6	7,542	6.77±	3.72±	0.78±	0.13±	2.98±	42.81±	1.86±	670.5±	0.67±
			0.66	2.93	0.63	0.06	2.66	23.57	2.52	324.27	0.58
Field	32	51,453	6.58±	4.20±	0.54±	0.12±	1.19±	33.41±	1.40±	398.7±	0.85±
			0.59	7.34	0.78	0.12	2.23	20.78	2.32	285.14	0.48
Forest	42	52,794	5.97±	1.67±	0.34±	0.04±	1.95±	16.92±	2.64±	276.2±	1.10±
			0.91	5.29	0.56	0.05	6.30	19.49	5.89	379.26	0.99
Other	7	8,799	5.70±	4.11±	0.32±	0.04±	1.26±	15.43±	0.60±	572.6±	0.91±
			1.20	6.92	0.50	0.03	1.43	20.48	0.78	696.21	0.57
Concern criteria of soil contamination				6	1.5	4	50	40	100	300	4
Critical criteria of soil contamination				15	4	10	125	100	300	700	10

4. 식생 조사 결과

갱구 주변 조사지역은 지역산(1,117m), 민둥산(1,119m) 등 해발고도가 높은 전형적인 산지 지역이다. 조사지 내의 식생을 조사한 결과, 대부분 소나무군락, 신갈나무군락, 소나무-신갈나무군락으로 안정된 모습을 보였으며, 신갈나무군락을 중심으로 주변 소나무 군락이 형성되어 있는 것으로 나타났다(Fig. 4). 군락별로 차지하는 면적은 신갈나무군락은 51%, 소나무군락 25%, 소나무-신갈나무군락 18%로 나타났으며, 신갈나무군락이 대부분 면적을 차지하고 있었다(Table 4).



Fig. 4. Research scene.

Table 4.. Distribution area and ratio of each community

Division of community	Area(m ²)	Ratio(%)
<i>Quercus mongolica</i>	730,000	50.69
<i>Pinus densiflora</i>	358,003	24.86
<i>Pinus densiflora-Quercus mongolica</i>	265,500	18.44
Other	86,497	6.01
Sum	1,440,000	100.00

1) 식물군락의 분류

(1) 신갈나무 군락(*Quercus mongolica* community)

방형구 수는 총 2개로 출현 16~32종으로 다양하게 나타났으며, 신갈나무, 산벚나무, 털아짱나무 등이 아교목층에 분포되어 있고, 피불나무, 참싸리, 참개암나무, 당단풍나무, 신갈나무 등이 관목층에 나타났다. 초본층에는 노루귀, 둥굴레, 참취, 삼주, 노랑갈퀴, 짝자래나무, 신갈나무, 개머루, 대사초, 조록싸리, 민둥갈퀴, 여로, 고려엉겅퀴, 꽃머느리밥풀, 맑은대쑥, 홀아비꽃대, 잔대, 노루오줌, 나비나물, 수리취, 큰꼭두서니, 큰기름새, 산딸기, 오이풀 등이 낮은 빈도로 출현하였으며, 대사초 및 노랑갈퀴는 우점으로 나타났다. 수고 및 식피율은 Table 5에 나타내었다.

(2) 소나무 군락(*Pinus densiflora* community)

출현 종수는 29종으로 나타났으며, 산포나무, 참개암나무 등이 아교목층에 분포되어 있으며, 생강나무, 조록싸리, 짝자래나무, 두릅나무 관목층에 나타났다. 초본층에는 조록싸리, 고사리, 선밀나물, 생강나무, 큰기름새, 산딸기, 두릅나무, 그늘사초, 도고로마, 참개암나무, 산초나무, 네잎갈퀴, 까실쑥부쟁이, 칩, 좁개잎나무, 눈피불주머니, 쥐오줌풀, 산벚나무, 참취, 으아리, 선밀나물, 둥굴레, 개웃나무, 이고들빼기, 용둥굴레, 잔털제비꽃 등이 낮은 빈도로 출현하였으며, 그늘사초가 우점으로 나타났다. 교목층 수고는 17m, 식피율 90%, 아교목층 수고는 6.5m, 식피율 45%, 관목층 수고는 1.5m, 30%, 초본층 식생고 0.6m, 식피율 60%로 나타났다.

(3) 소나무-신갈나무 군락(*Pinus densiflora-Quercus mongolica* community)

신갈나무 및 소나무, 산벚나무는 주로 아교목층에 분포되어 있으며, 참개암나무, 참싸리, 조록싸리는 관목층에 나타났다. 초본층에는 산초나무, 생강나무, 참취, 짝자래나무, 대사초, 민둥갈퀴, 꽃머느리밥풀, 잔대, 노루오줌, 나비나물, 큰꼭두서니, 산딸기 등이 나타났으며, 총 20종의 발견되었다. 교목층 수고는 15m, 식피율 70%, 아교목층 수고는 5.5m, 식피율 50%, 관목층 수고는 2.5m, 식피율 25%, 초본층 식생고 0.6m, 식피율 70%로 나타났다.

Table 5. Synthesis table of plant communities investigated from Mt. Jieok

A: *Quercus mongolica* community (신갈나무군락), B: *Pinus densiflora* community (소나무군락),C: *Pinus densiflora-Quercus mongolica* community (소나무-신갈나무군락)

Community type		A		B	C
		A-1	A-2		
Serial number		1	2	3	4
Altitude(m)		950	950	750	780
Slope aspect		SW	N	SE	E
Slope degree(°)		30	40	50	50
Quadrat size(m ²)		225	225	225	225
Height of tree 1 layer (m)		18	16	17	15
Coverage of tree 1 layer (%)		85	90	90	70
Height of subtree layer (m)		7.5	5	6.5	5.5
Coverage of subtree layer (%)		50	55	45	50
Height of shrub layer (m)		1.8	2.5	1.5	2.5
Coverage of shrub layer (%)		30	30	30	25
Height of herb layer (m)		0.6	0.8	0.6	0.6
Coverage of herb layer (%)		75	80	60	70
Number of species		16	32	29	20
Differential species of the community					
<i>Quercus mongolica</i>	T1	5.5	5.5	2.2	4.4
<i>Quercus mongolica</i>	T2	3.3	3.3	.	1.1
<i>Quercus mongolica</i>	S	+	+	.	1.1
<i>Quercus mongolica</i>	H	1.1	+	.	.
<i>Pinus densiflora</i>	T1	.	1.1	.	4.4
<i>Pinus densiflora</i>	T2	.	.	.	2.2
<i>Pinus densiflora</i>	S	.	.	.	+
<i>Prunus sargentii</i>	T1	.	.	1.1	.
<i>Prunus sargentii</i>	T2	.	+	.	+
<i>Prunus sargentii</i>	H	.	.	+	.
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	T2	.	.	1.1	.
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	H	.	.	+	+
<i>Malus baccata</i>	T2	.	+	.	.
<i>Lonicera maackii</i>	S	.	1.1	.	.
<i>Lindera obtusiloba</i>	S	.	.	2.3	.
<i>Lindera obtusiloba</i>	H	.	.	1.1	+
<i>Corylus sieboldiana</i>	T2	.	.	1.1	.
<i>Corylus sieboldiana</i>	S	.	+	.	3.3
<i>Corylus sieboldiana</i>	H	.	.	+	.
<i>Aralia elata</i>	S	.	.	+	.
<i>Aralia elata</i>	H	.	.	+	.
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	S	.	+	.	.
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	S	1.1	1.1	.	1.1
<i>Hepatica asiatica</i>	S	.	+	.	.
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>	H	+	1.1	+	.

Table 5. Continued

Serial number		1	2	3	4
<i>Polygonatum involucratum</i>	H	•	•	+	•
<i>Aster scaber</i>	H	2.2	+	+	1.1
<i>Atractylodes</i>	H	+	+	•	•
<i>Vicia chosensis</i>	H	•	2.3	•	•
<i>Syringa wolffii</i>	S	1.1	+	•	+
<i>Syringa wolffii</i>	H	•	+	•	+
<i>Ampelopsis brevipedunculata</i>	H	•	+	•	•
<i>Viola keiskei</i>	H	•	•	+	•
<i>Carex siderosticta</i>	H	•	3.3	•	+
<i>Galium trachyspermum</i>	H	•	•	+	•
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	T2	1.1	•	•	•
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	S	2.2	•	1.1	2.2
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	H	1.1	1	1.1	•
<i>Galium kinuta</i>	H	+	1	•	+
<i>Veratrum maackii</i> var. <i>japonica</i>	H	+	+	•	•
<i>Cirsium setidens</i>	H	•	+	•	•
<i>Melampyrum roseum</i>	H	•	1.1	•	1.1
<i>Artemisia keiskeana</i>	H	•	1.1	•	•
<i>Adenophora triphylla</i> var. <i>japonica</i>	H	+	+	•	+
<i>Aster ageratoides</i>	H	•	•	+	•
<i>Dioscorea tokoro</i>	H	•	•	+	•
<i>Pueraria thunbergiana</i>	H	•	•	+	•
<i>Astilbe chinensis</i> var. <i>davidii</i>	H	1.1	+	•	+
<i>Valeriana fauriei</i>	H	+	•	+	•
<i>Boehmeria spicata</i>	H	•	•	+	•
<i>Vicia unijuga</i>	H	•	+	•	+
<i>Synurus deltooides</i>	H	+	+	•	•
<i>Smilax nipponica</i>	H	•	•	+	•
<i>Rubia chinensis</i> Regel & Maack var. <i>chinensis</i>	H	•	+	•	+
<i>Corydalis ochotensis</i>	H	•	•	+	•
<i>Spodiopogon sibiricus</i>	H	+	+	+	•
<i>Rubus crataegifolius</i>	H	+	+	+	1.1
<i>Sanguisorba officinalis</i>	H	•	+	•	•
<i>Clematis mandshurica</i>	H	+	•	+	•
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	H	•	•	+	1.1
<i>Carex lanceolata</i>	H	•	•	+	+
<i>Rhus tricocarpa</i>	H	•	•	+	•
<i>Crepidiastrum denticulatum</i>	H	•	•	+	•

*T1: Tree layer, T2: Subtree layer, S: Shrub layer, H: Herb layer

결 과

폐광산이 위치한 강원도 정선군 남면 무릉리의 토지이용현황을 살펴보면 전체 면적 중 88.9%가 임지이고, 경작지(논, 밭, 과수원 부지 포함)는 6.3%로 경작지의 분포가 적은 것으로 조사되었다. 폐광산 주변은 대부분 산림으로 구성되어 있으며, 산지를 개간하여 작물을 재배하고 있었다. 평상시 하천은 건천인 상태로 강우시에 오염물질의 이동이 높을 것으로 판단되었으며, 수질분석 결과, 일반적인 항목은 특이사항이 없는 반면 중금속 중 상대적으로 Zn의 농도가 높게 나타났다. 또한, 갯구 주변 토양 분석 결과 Zn, Ni의 오염도가 높은 것으로 나타났고, 지속적인 유출이 발생된다면 주변 환경에 악영향을 줄 것으로 판단되었다. 주변 식생 군락은 신갈나무군락과 소나무군락, 소나무-신갈나무군락으로 단조로운 형태로 나타났으며, 소나무군락에서는 소나무-신갈나무군락과 같은 혼합림으로 발달하고 있으며, 혼합림은 많은 지역에서 신갈나무군락으로 천이되고 있는 것으로 보여졌다. 갯구 주변은 대부분 나지형태로 방치되어 있는 상태이고, 차후 토양복원 사업 수행시 주변의 식생을 고려하여 연계되는 자연형 처리시설을 설계하는 것이 바람직하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 2009년도 한국자연보전협회의 지원을 받아 수행하였다.

참고문헌

- 만선흥, 김성태, 김건홍. 2000. 조류, 물벼룩, 형광성 박테리아를 이용한 금속의 독성평가. 대한토목학회집. 20(3): 421-427.
- 사공준. 2008. 폐금속광산과 지역주민 건강영향조사, 대한산업의학회 학술대회 논문집. pp. 21-30.
- 양재의, 옥용식, 박용하. 2007. 광산 훼손지역의 생태공학적 산림복구 방안. 광해방지기술 1(1): 67-87.
- 이민효, 최상일, 이재영, 이강근, 박재우. 2006. 토양지하수환경. 동화기술. pp. 223-224.
- 이준호, 남권철, 박갑성. 2006. 중금속 오염 폐광산 주변토양의 세정. 한국물환경학회. 수질보전. 22(5): 871-878.
- 정선군. 2009. 정선군통계연보.
- 정영욱, 민정식, 권광수, 이현주. 1997. 광산배수 정화용 소택지의 기질물질 효율성 평가. 한국자원공학회지. 34: 142-151.
- 환경부. 2006. 2005년도 폐금속광산 토양오염실태 정밀조사 결과(경남·북, 전남권역).
- 환경부. 2007a. 수계별 광산 유출수 개황조사.
- 환경부. 2007b. 제3차 전국자연환경조사 지침.
- 환경부. 2007c. 토양오염공정시험방법.
- 환경부. 2008. 수질오염 공정시험기준.
- 국가생물종지식정보시스템. <http://www.nature.go.kr/wkbik1/wkbik1311t1.leaf>
- Andrew, D. E., S. C. Lenore, and E. G. Arnold. 1995. Standard methods for the examination of water and

wastewater. 19th ed. APHA. AWWA. WEF. pp 1-22.

James, W. P. and M. David. 1998. Photo atlas for botany. Wadsworth Publishing Company. pp. 74-75.

요 약

폐광된 광산이 많이 분포한 강원도 지역을 대상으로 조사하였으며, 정선지방 2009년 평균 강우량은 1,314mm, 평균 기온은 18℃로 조사되었다. 조사지역 주위에 지역산과 민둥산이 위치해 있고 2009년 7월부터 10월까지 월 1회씩 유출수 및 영향 하천에 대한 모니터링을 실시하였으며 갭구를 기점으로 반경 1 Km 내에 대하여 토양 및 식생분포 조사를 실시하였다. 하천의 경우 건기와 우기의 유량변동이 심하였으며 수질 분석 결과 상류지점과 갭구 유출수의 평균농도를 비교하였을 때 유출수의 농도는 약 Zn는 20배, Mn은 80배 높은 결과를 나타냈다. 다른 지점에서도 중금속 중 상대적으로 Mn, Zn의 농도가 높은 것으로 나타났다. 토양 분석 결과 조사지점의 그룹별로 갭구 2.9%, 나지 5.7%, 도로 5.7%, 밭 39%, 임야 40% 기타지역(폐석장 및 하천) 6.7%를 차지하였고, 밭과 기타지역에서 As, 도로주변과 밭에서 Ni이 높은 농도를 나타내었다. Zn의 경우 많은 지역에서 우려 및 대책기준을 넘는 것으로 나타났다. 조사지 내의 식생 조사 결과 신갈나무군락 51%, 소나무군락 25%, 소나무-신갈나무군락이 18%로 신갈나무 군락이 높은 비율을 차지하였다. 신갈나무군락의 출현종수는 14~32종으로 다양하게 나타났으며, 소나무 군락은 29종, 소나무-신갈나무 군락은 20종으로 조사되었다.

검색어 : 폐광산, 유출수, 중금속, 산성광산배수, 식생