

폐광지역의 오염현황 및 환경관리 전략

정재춘, 이무춘

연세대 환경학과

Environmental Problems of Abandoned Mining Sites and Their Recovery

Jae-Chun Chung, Moo-Choon Lee

Dept. of Environmental Science, Yonsei University

ABSTRACT

There are approximately 500 abandoned mining sites in Korea. Abandoned mines cause various environmental and safety problems such as landscape damage, soil, groundwater and stream pollution by heavy metal, acid mine drainage and soil erosion. According to the survey, there are significant numbers of mines causing environmental problems in Korea. For a environmentally sound management of abandoned mines, the Soil Pollution Control Act should include the regulation concerning soil pollution and recovery standards of the abandoned mines. Also, comprehensive survey about abandoned mines, setting-up of the recovery priority, finance for clean-up are necessary.

Key words : Abandoned mining sites, Soil pollution, Heavy metal, Environmentally sound management

초 록

현재 우리나라에서 휴·폐광된 광산수는 약 500여개가 넘는 것으로 추정되고 있다. 휴·폐광된 광산은 경관의 저해 및 분진발생, 중금속에 의한 토양, 지하수 및 하천오염, 산성광산 배수의 생산, 지반붕괴 등 안전사고의 위험 등의 환경문제를 안고 있다. 국내에서 조사된 일부 휴·폐광된 금속광산의 오염현황을 보면 폐석 방치, 침출수, 갱내수의 유출, 인근 하천 및 토양의 중금속 오염, 시설물의 붕괴위험을 안고 있는 폐광산이 상당히 발견되고 있다. 휴·폐광된 광산의 관리대책으로서는 법규를 정

비하여 토양환경보전법에 광산지역의 토양오염기준 복원기준 등이 설정되어야 한다. 또한 광산폐수, 폐기물을 적절히 처리해야 하며 지반침하대책 및 폐광의 지하공간 활용 등에 관한 연구가 진행되어야 한다. 이러한 대책을 추진하기 위해서는 무엇보다도 먼저 휴·폐광에 대한 조사가 선행되어야 하며 오염복원순위의 설정, 재원 및 전문인력의 확충이 필요하다.

핵심용어 : 휴·폐광, 중금속오염, 토양오염, 복원기준

1. 서 론

우리나라는 국토면적에 비해 풍부한 광물자원을 함유하고 있어서 삼국시대 이전부터 광업활동이 시작될 정도로 광업의 역사가 오래되었다. 이러한 결과로 자연히 그동안 많은 곳의 광산이 폐광되어 왔다. 폐광된 광산지역에서는 엄청난 양의 폐석과 광미(선광하고 난 찌꺼기)가 발생되며 이들은 부유물 및 산성오염, 중금속 오염 등 갖가지 환경오염 문제를 일으킨다.

그렇지만 우리 나라에서는 최근까지도 폐광된 광산에 대해서 별다른 규제조치나 관리 방안이 강구된 적이 없었다. 1994년에 들어서서 비로소 토양환경 보전법이 제정되어 처음으로 휴·폐광된 금속광산에 대한 오염물질 규제가 시작되었다. 이것은 일찍부터 휴·폐광된 광산에 대한 법을 제정하여 실시하고 있는 선진국에 비해 상당히 늦은 감은 있지만 아직도 법규상 미비한 점이 많다. 그리고 폐광지역의 복원 및 활용방안에 대해서는 이제까지 체계적으로 개념이 정립되거나 사업이 추진된 사례가 없으며 휴·폐광된 광산에서 배출되는 오염물질을 제거, 격리, 확산 방지 등의 조치를 할 수 있는 방법이 연구된 사례도 거의 없다.

휴·폐광된 광산은 수질오염과 토양 및 지하수 오염을 일으킬 뿐 아니라 폐허된 흉한 모습에 의해 주위의 자연경관을 크게 해치므로 이의 환경오염을 방지하고 자연생태계를 복원할 수

있도록 이에 부응하는 법규의 제정, 기술의 개발, 오염제어 및 복원사업이 조화 있게 이루어져야 한다. 특히 폐탄광이 많은 강원도지역은 수려한 관광자원의 보전 및 환경오염제어, 자연생태계의 관리 및 효율적 이용의 측면에서 합리적인 환경관리의 필요성이 대두된다고 보겠다.

2. 휴·폐광 금속광산 및 탄광 현황

먼저 우리나라의 금속광산의 등록광구 및 조업중인 광산수를 보면 표 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 등록광구는 1984년의 5,361개에서 1995년에는 1,722개로, 조업중 광산수는 1984년의 151개에서 1996년에는 20개로 급속히 감소되었음을 알 수 있다. 따라서 국내에는 폐광산이 적어도 상당수 있으리라는 추측이 간다(자료: 박용하, 1996).

실제 왜정시대에서부터 조업되었던 금속광산이 현재까지 폐광된 금속광산의 수는 1,000개를 상회하고 있는 것으로 보고되기도 하였으나 환경부의 자료에 의하면 금속광산 수는 1996년도에 303개로 보고되고 있다.

표 2에는 폐탄광 대책비를 지원받은 탄광수를 보였다(오종기, 1996).

1989년부터 1997년 2월 까지 총 334개의 탄광이 폐광되었음을 알 수 있다. 지역적으로 보면 강원도가 166개로 가장 많고 충남이 74개, 경북이 55개의 순이다. 이렇게 폐탄광이 늘어난 이유는 석탄산업 합리화 사업이 시작된 1988년

도 이후 채산성이 급속히 악화되었기 때문이다. 현재는 12개 탄광만이 조업되어 연간 약 400~500만톤의 석탄을 생산하고 있을 뿐이다.

한편 휴·폐광된 금속광구와 광산수는 조사된 바 없어 그 수를 정확하게 알 수 없다. 표 3에서 '84~'95까지 등록된 광구 중 일부는 등록 후 조업하지 않고 있으며, 동일한 광산에 대하여 2개 이상의 광구가 등록이 된 경우, 組鑽權 말소에 의한 재등록 등의 이유로 인해 개발된 광구수는 등록광구수보다 적을 것으로 추정된다. 또한, 일제시대에 개발되었다가 폐광된 경우는 광산의 위치 및 광물의 생산량을 확인할 수 있는 자료가 존재하지 않는다.

현재 조사가능한 문헌 및 자료에 의하면 휴전

선 이남지역에 최소 303개에서부터 990개로 보고되어 있으나 정확한 휴·폐광된 금속광산의 수는 확인되지 않고 있다. 그러나 자료를 종합해 보건데 최소 500개의 휴·폐광된 금속광산이 남한 지역에 존재하는 것으로 추정된다.

강원도의 경우를 보면 태백시, 삼척시 도계읍, 정선군 고한 및 사북읍, 영월군의 상동지역을 중심으로 하는 강원 남부 60년대에서 80년대까지 30년간 국내 석탄 산업의 핵심지구로 꾸준히 성장하여 80년대 중반에는 연간 생산량이 2,000만톤을 상회하였었다. 그러나 1980년대 후반부터 채산성악화와 소비 패턴의 변화로 석탄수요가 감소함에 따라 폐탄광의 숫자도 증가되었다.

표 1. 연도별 금속광의 등록광구 및 조업중인 광산수.

구 분 \ 연 도	1984	1986	1988	1990	1992	1993	1994	1995	96. 10
광구 등록수	5,361	3,846	2,992	2,943	2,449	2,142	1,868	1,722	
조업중 광산수	151	107	83	61	36	34	29	29	20
금·은·동광	116	82	59	45	27	24	19	21	13
연·아연광	9	7	6	5	2	2	1	1	2
철광	13	8	6	5	3	3	4	3	2
중석·물리브덴광	7	3	3	1	-	-	1	-	1
기타 금속광	6	7	9	5	4	5	4	4	2

자료: 오종기, 1996

표 2. 연도별, 지역별 폐탄광 대책비를 지원받은 폐탄광수.

지 역 \ 연도별	1989	1990	1991	1992	1993	1994~97. 2. 10 현재	계	비 고
강원	41	14	14	11	13	5	98	
영동	33	10	6	10	5	4	68	
충남	22	15	10	11	5	11	74	서부
충북	7	1	3	5	-	5	21	중부
경북	21	5	10	9	7	3	55	중부
전라	6	2	3	4	1	2	18	남부
계	130	47	46	50	31	30	334	

자료: 오종기, 1996

표 3. 휴·폐광산된 금속광산 현황.

시 도 별	환경기술개발원 연구자료	외부 자료			
		통 산 부	농촌진흥청	시 도	농진청·시도·통산부의 비교우위수
서울	-	-	-	-	-
부산	-	2	8(9)	40	40
대구	-	-	1(1)	1	1
인천	1	5	11(17)	-	11
대전	1	1	1(1)	-	1
광주	7	2	2(2)	-	2
경기	91	34	54(96)	8	54
강원	141	30	35(149)	130	130
충북	118	44	49(136)	57	49
충남	266	34	41(113)	13	41
경북	105(달성)	75	77(204)	49	77
경남	68	30	43(83)	27	43
전북	108	33	24(60)	20	33
전남	84	13	29(55)	10	29
계	992	303	375(926)	335	511

자료: 오종기, 1996

+ 1989~1993년간 휴·폐광된 금속광산의 수입.

*환경부에서 통보된 2,430개소의 광구등록번호를 대상으로 조사한 자료임.

() 안의 수치는 광구수임.

3. 발생하는 환경문제

3.1 경관의 저해 및 분진발생

광산이 개발되면 다량의 폐석과 잔토, 광미가 발생된다. 예를 들면 구리 1.5 kg을 생산하는데는 1톤 정도의 광미가 생성되며 금 1kg을 생산하는 데는 2톤 정도의 광미가 생성된다. 그리고 폐석은 경우에 따라 다르지만 통상 광미의 3배~10배 가량 생성된다. 폐석과 광미는 경관을 해칠 뿐 아니라 분진 발생의 원인이 된다(박용하, 1996).

3.2 중금속에 의한 토양, 지하수 및 하천오염

폐석과 광미로부터는 대부분 높은 농도의 중금속이 배출되어 토양, 지하수 및 하천오염의 원인이 되고 있다. 은 광산 주변에는 산화은의 독성 때문에 잡초가 자라지 못하며 구리나 카드

뮴광산 주변에서도 이와 비슷한 현상이 나타나 는 것은 흔히 볼 수 있는 현상이다.

중금속 함량이 높은 갱내수나 퇴적된 폐석과 광미로부터 생성되는 침출수가 지하나 하천으로 유입되면 중금속의 독성으로 인해 토양 및 하천 생태계가 파괴되며 수은이나 카드뮴같은 금속은 생물농축을 하게 된다.

일본에서는 神岡(아시오) 광산지역에서 배출된 카드뮴이 섞인 폐수를 장기간 농작물의 재배와 음용수로 사용하였는 바, 이것이 역사적으로 유명한 이따이이따이("아프다아프다"란 뜻)병을 발생시켰던 것이다.

3.3 산성광산 排水의 생성

석탄 및 각종 금속광석은 환원형 조건에서 지질학적 기간 동안 밀폐되어 형성된 것이다. 특히 석탄은 종종 황철광(FeS₂)과 관련되어 있

다. 채광활동에 의하여 이러한 물질이 공기 중 산소에 노출되면 자가산화 및 미생물이 수행하는 철 및 유황산화의 복합작용에 의해 다량의 산이 생성된다. 철분이 풍부한 산성광산 排水는 수중생물을 죽이고 이것으로 오염된 하천은 上水用水나 위락용으로 부적합하게 된다.

일부 산성광산배수는 지하광산에 물이 유입되어서 또는 광석찌꺼기 무더기, 광석 및 석탄더미, 석탄을 운반하기 전에 상위등급의 석탄으로부터 하위등급의 석탄을 분리하여 쌓아둔 더미 위에 빗물이 흘러내려 생성된다. 이러한 문제는 한정적이며 비교적 쉽게 제어할 수 있다. 지하탄광의 경우에는 석탄을 파낸 후 빈 자리를 찌꺼기를 메우거나 땅이 가라앉게 한다. 이렇게 하면 한번에 한정된 양의 석탄만이 산화작용에 노출하게 된다. 이에 비해 노천광산(strip mining)은 위해서부터 깎아내리고 多孔性의 석탄부스러기가 남게 되어 산소와 침투수(percolating water)에 노출된다. 철과 유황이 산화되는 결과로 pH가 급격히 자리잡지 못하게 한다. 노천채광지역은 대부분의 황화수소염(sulfide)이 산화되어 용탈될 때까지 산성광산 배수의 생성이 계속된다. 이리하여 토지가 회복되는 데는 50~150년이 걸릴 수 있다(Atlas and Bartha, 1987).

3.4 지반붕괴 및 안전사고 위험

폐광을 메꾸지 않고 그대로 두게 되면 지반붕괴 및 안전사고의 위험이 있다. 또한 폐광주변의 토지이용에도 지장을 받게 되며 갱구내로 빗물이 스며들게 되면 심층 지하수 오염의 원인이 된다.

4. 국내 폐광지역의 오염 현황

국내 폐탄광지역의 오염 현황을 표 4에 보였

다. 표에서 보는 바와 같이 비소가 가장 많이 대책 기준치를 초과하고 있음을 알 수 있다(다락광산을 제외한 모든 지역). 이밖에 카드뮴이 1개지역에서, 동이 1개 지역에서, 납이 2개 지역에서 대책기준을 초과하고 있다.

표 5에 일부 국내 폐탄광 갱수의 수질 특성을 요약하였다. 이 표를 보면 황산염과 As, Cd, Pb, Zn, Cu 등 산성물질과 중금속을 높게 함유하고 있음을 알 수 있다.

표 6에는 100여개의 휴·폐광산의 금속광 갱수의 조사결과를 요약하였다. 이 표를 보면 일부 금속광 갱수는 수질환경보존법의 오염물질 배출허용기준을 초과하고 있음을 알 수 있다. 이들 갱수는 폐탄광 갱수에 비해 중금속 농도가 훨씬 높다는 것이 문제점이다.

국내 탄광 폐수와 금속광 폐수의 일반적인 특징을 요약하면 표 7과 같다. 즉 탄광폐수는 폐수량이 다량인 반면에 금속광 폐수는 폐수량을 소량이나 중금속 함량이 높다는 점이다.

광산폐기물도 또한 중금속을 많이 함유하고 있어서 방치될 경우 이것이 자연환경으로 유출될 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 표 8에는 일부 광산의 광산 폐기물 용출시험 분석결과를 보였다. 이 표를 보면 As가 가장 많이 유해물질 함유기준을 초과하며 Cd, Cu, Pb의 순으로 함유기준을 초과하고 있음을 알 수 있다.

표 9에는 국내에서 조사된 휴·폐광된 금속광산의 환경문제를 요약하였다. 이와 같이 휴·폐광된 금속광산은 폐석방치, 침출수·갱내수유출, 중금속오염, 시설물의 붕괴위험 등의 환경문제를 안고 있는 것이다.

5. 휴·폐광산의 관리대책

5.1 법규의 정비

우리 나라는 1995년 1월 토양환경보전법이

표 4. 국내 폐탄광지역의 토양오염 조사 예 (토양오염 용출시험법 적용, mg/kg).

성분	As	Cd		Cr ⁶⁺	Cu		Hg	Pb		pH	비고
우려/대책	20/50	12/30		12/30	200/500		16/40	400/1,000			
광산명	1N, HCl	Total	0.1N, HCl	0.1N, HCl	Total	0.1N, HCl	Total	Total	0.1N, HCl		
다락	15~3.5	<15.7	<6.50	<0.1	10~1,000	1~50	<0.4	10~20,000	1~424	2.5~7	15개소 조사 우려: Pb 1
동원2리	15~177	8.5~42	4.35~18.7	<0.1	54~143	11~52	3~3.4	1,000~1,600	54~710	8.1~8.5	2개소 조사 대책: As 1
다덕	300~4,500	<11	<2.85	<0.1	60~1,500	3~85	0.05~0.5	330~25,700	0.8~474	2.55~5.41	11개소 조사 대책: As 11, Pb 1
일월	95	16	8.45	<0.1	775	40	0.13	8,770	9.1	3.43	1개소 조사 As 1
진곡	240~3,360	4~41	3~29	<0.1	30~566	12~260	0.07~5.7	760~6,610	21~1,110	4.6~8.5	8개소 조사 대책: As 8, Pb 1
달성	30~130	<3	<1.52	<0.1	375~2,400	26~570	0.2~1.1	140~2,300	1~20	2.5~5.5	7개소 조사 대책: As 8, Cu 1
조일	17~220	3~50	0.1~17	<0.1	100~470	4.5~14	0.04~0.07	4,100~13,500	7.5~223	2.05~7.7	4개소 조사 대책: As 3
합창	0.4~1,470	5.7~290	0.5~51	<0.1	95~764	<4.7	0.03~0.13	763~5,390	<3.5	2~7.1	4개소 조사 대책: As 3, Cd 1
일광	6~1,300	1~5.3	<3.1	<0.1	230~870	26~435	0.06~0.26	100~994	<6	2.4~3.1	5개소 조사 대책: As 4
구봉	194~784	50~102	9~26	<0.1	100~471	6~43	1.3~4.7	2,500~6,330	879~2,980	8.1~8.6	3개소 조사 대책: As 3, Pb 3
유천	92~1,440	1~3.2	<0.25	<0.1	10~330	0.7~25	0.01~0.04	91~2,960	0.1~43	2.5~3.5	3개소 조사 대책: As 3
중앙	460~760	1.9~2.3	0.37~0.68	<0.1	8~15	1.4~1.7	1.7~2.9	130~350	19~50	8.5~9.1	3개소 조사 대책: As 3

*pH는 국내 토양환경보전법의 용출시험공정법에서 규정한 것으로 증류수 20%w/v의 슬러지로 만들어 측정하였음.
 자료: 오종기, 1986

제정되고 있어서 시행령과 시행규칙이 각각 동년 12월 및 1996년 1월 제정됨으로서 국내의 토양오염의 관리체제가 마련되었다. 이들 법안에서 국내의 토양오염기준은 앞에서 언급한 바와 같이 희석 염산에 의한 용출시험법으로 평가하여 표 10과 같이 오염기준을 농업지역과 공장지역으로 구분하여 우려지역 및 대책지역으로 기준치를 설정하였고 오염물질은 Cd, Cu, As, Hg, Pb 그리고 Cr⁶⁺ 등 6가지 금속과 시안,

유기인, PCB, 페놀 및 유류(동, 식물성 제외) 등 무기 및 유기오염물질을 규정하여 총 11개 항목에 달하고 있다.

농경지는 식물의 생장 및 인체건강을 고려하여 유기인이 오염물질로 지정되었다. 광산지역은 공장 및 산업지역으로 분류되어 우려지역인 경우의 오염기준치는 카드뮴과 6가크롬이 12 ppm, 수은과 비소가 각각 16 및 20 ppm으로 비소만이 1.0 N-HCl로 용출할 때의 값이고 수

표 5. 폐탄광 갱수 수질 특성 및 영향하천.

지 역 구 분	영 동	영 서	중 부	서 부	남 부	수질기준
조사된 탄광 갱수	14	3	12	16	5	
pH	(3.54) 2.41~6.00	(3.71) 2.74~4.95	(5.81) 2.36~7.9	(6.48) 3.19~7.96	(6.24) 3.98~7.48	5.8~8.6
Al	(53) 3.21~261	(25) 11~34	(13) 0.05~64	(6.77) 0.06~93	(13) 0.03~45	-
Fe	(123) 0.12~724	(20) 3~49	(27) 0.02~194	(2) 0.05~8	(4) 0.12~9.89	10 이하
Mn	(4.46) 0.59~10.59	(3) 1~4	(8) 0.06~29	(1.8) 0.01~6	(1.91) 0.03~3.25	10 이하
Zn	(0.35) 0.03~0.99	(0.69) 0.26~0.97	(0.43) 0.00~2.25	(0.26) 0.01~1.38	(0.23) 0.02~0.45	5 이하
Ca	(76) 6.64~322	(45) 38~51	(256) 37~807	(82) 25~257	(134) 49~305	-
Mg	(47) 4~260	(22) 11~33	(85) 4~392	(39) 3~245	(54) 19~109	-
SO ₂ ⁻	(915) 42~3113	(306) 118~432	(736) 87~2407	(259) 30~2274	(293) 161~562	-
대표적 탄광	동해, 황지	삼탄, 동원	합태(대정)	영보, 신성	호남, 동양	-
영향하천	황지천, 철암천, 오십천, 주수천, 준선강, 낙풍천	동남천, 동대천, 송천, 조양강, 주천강, 남대천	신북천, 산이천, 조령천, 지산천, 이안천, 대청호상류	청천, 대천, 웅천천	동북천, 지석천, 동북호, 금천, 저수지	-

자료: 민정식 외, 1993~1994

주) 화학성분의 단위: mg/l, 농도값은 (평균)과 최대~최소로 표현됨.

수질환경보존법 시행규칙 8조 별표 5 ("가" 지역) <오염물질의 배출허용기준>

은온전함량이므로 그 기준치가 매우 낮은 편이다. 그리고 구리와 납이 각각 200 및 400 ppm으로 상당히 큰 값이다. 광산지역이 포함되는 공장 및 산업지역의 대책지역인 토양오염 기준치는 우려지역 기준치의 2.5배로 획일화 되었다. 또한 시안화합물의 경우는 우려지역의 기준치가 120 ppm으로 대책지역의 기준치는 우려지역의 2.5배이다.

광산지역의 오염원의 관리에 관련되는 우리나라의 현행법으로 자연환경보전법, 수질환경보전법, 광업법, 광산보안법, 폐기물관리법, 농촌근대화촉진법, 산림법, 석탄산업법 등으로 누릴 수 있는 자연환경이 보전되어야함을 제시하고

있다. 그러나 대부분의 현행법은 가행 중인 광산활동의 환경오염방지에 초점을 맞추고 있다. 광산보안법 제18조에 의하면 "통상 산업부 장관은 광업권이 소멸한 후라도 3년간은 광업권자 또는 조광권자이었던 자에 대하여 그가 광업권을 경영하였으므로 인하여 발생할 위해 또는 광해를 방지하기 위하여 필요한 조치를 명할 수 있다"고 명시되어 있다. 우리나라의 폐광은 대부분이 폐광 후 3년이 지난 것으로 광해에 대한 법적 책임자가 없다. 또한 갱내수 및 침출수는 광업활동이 끝난 수년 후에 중금속의 농도가 높아지는 경우가 많다. 현재 가행 중인 금속광산 및 휴·폐광 이후에 발생할 수 있는 광해의

표 6. 휴·폐 금속광산 갱수의 수질과 오염물질 배출허용기준과 비교.

구 분		항 목	pH	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)	Cu (mg/l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Mn (mg/l)	As (mg/l)
		"가"지역(*기준치)	5.8~8.6	10 이하	5 이하	3 이하	0.1 이하	1 이하	10 이하	0.5 이하
광산명(조사지역)										
구 룡	광미장 옆	●							●	
	광미장 하류	●							●	●
군 북	갱구앞									
광 양	갱구앞	●								
다 덕	광미장	●		●						
대 덕	제3갱	●		●		●	●			
일 진 (순 천)	남 갱	●								
	갱수+계곡수			●						
전 주1	갱 도	●						●		
덕 온	갱 도	●								
달 성	하3번 좌측	●	●	●	●	●		●		
제 일	갱구앞	●			●					
양 구 동	갱구앞	●		●		●	●			
일 광	5번갱구	●	●	●	●	●	●	●		

자료: 민정식 외, 1995~1996
 ●은 배출허용기준을 초과하는 성분을 의미함
 * 수질환경 보전법 시행규칙 제8조 별표 5 ("가"지역)

표 7. 탄광폐수 및 금속광 폐수의 특성.

구 분	차 이 점	공 통 점	비 고
탄광폐수	<ul style="list-style-type: none"> 폐수량 다량 (대규모 탄전지대) 	<ul style="list-style-type: none"> 황, 철, 망간, 알루미늄 등 함유. 경도 pH범위: 산성~중성 	<ul style="list-style-type: none"> 음용수 및 생활용수로 부적당한 수질 주변환경에 오염으로 작용
금속광 폐수	<ul style="list-style-type: none"> 폐수량 소량 특정수질유해물질함유 (Cd, As, Cu, Zn, Pb) 		

방지가 장기적이고 효율적으로 수행될 수 있도록 적합한 규정이 필요하다.

1994년 1월에 제정된 토양환경보전법은 휴·폐광된 금속광산을 포함하여 토양오염을 종합적으로 방지 및 관리하기 위한 체계를 갖추고 있다. 특히, 동법의 시행규칙 제19조와 제21조에 6종류의 중금속류(As, Cd, Cr⁶⁺, Cu, Hg, Pb)를 포함한 11종류 오염물질에 대해서 농경지(논, 밭, 과수원, 목장용지, 체육용지(수목, 잔디식생지에 한함) 및 광장, 산업지역(공장용지,

잡종지)의 토양오염우려기준 및 토양오염대책기준이 제시되어 있다. 그러나 이 기준들을 광산 인근 지역에 직접 적용하는 것은 무리가 있을 수 있다. 광산 인근지역에서의 토양중 중금속 농도는 일반지역의 중금속 농도보다 높을 수 있으며, 광산지역에 대한 토양오염우려기준 및 토양오염대책이 제시되어 없음으로 인하여 광산지역의 오염기준 및 중금속 등으로 오염된 동 지역의 토양 복원하는 데 그 토양오염복원기준이 제시되어 있지 않다. 따라서, 광산지역의 토양

오염기준 및 복원기준 등이 검토 설정되고 이에 따른 적합한 규정이 명시되어야 한다.

표 8. 광산폐기물의 용출시험 분석결과 (단위: mg/l).

광산명	폐기물 관리법 유해물질 함유기준 (시행규칙 제2조 별표 3)			
	As	Cu	Cd	Pb
	1.5	3.0	0.3	3
거도광산		13		
금장광산			0.5	
금정광산	16			
산양(삼호)광산		3	1.5	
양구동광산		3.7	6	
쌍전광산	1.79			
송천광산	6			
은치광산	3		1.73	
고명광산			0.4	

자료: 권광수, 1996

표 9. 국내 조사된 24개 휴·폐광된 금속광산의 환경오염현황.

구 분	광 산 수
폐석방지	18
침출수·갱내수 유출	10
인근하천의 중금속 오염	10
인근토양의 중금속 오염	11
시설물의 붕괴위험	4

자료: 박용하, 1994

표 10. 우리나라의 오염토양 기준치 (단위: mg/kg).

항 목		우려지역		대책지역		비 고
분 류	조 성	농경지	공장·산업지역	농경지	공장·산업지역	
중금속	Cd	1.5	12	4	30	농경지: 논·밭· 과수원·목장용지· 하천·체육시설 (수목·잔디식생지)
	Cu	50	200	125	500	
	As	6	20	15	50	
	Hg	4	16	10	40	
	Pb	100	400	300	1,000	
	Cr ⁺⁶	4	12	10	30	
무기분	시 안	2	120	5	300	공장·산업지역: 공장용지·폐금속 광산·잡종지
유기분	유기인	10	-	30	-	
	페놀	4	20	10	50	
	PCBs	-	12	-	30	
	유류	-	80	-	200	

미국은 광해 발생을 방지하기 위한 법안으로 "Surface Mining Control and Reclamation Act(1977)"를 제정하였는데 이 법은 폐광지역의 복구에 대하여 상당히 진보된 내용을 담고 있다. 즉 채광에 의한 영향지역은 그 지역의 계절적 특성에 부합되는 식생이 조성되어야 한다고 명시하고 있으며 1982년 3월의 개정조항에서는 다음사항을 명시하여 강조하고 있다.

(1) 영구적인 식생이 덮인 면적은 최소한 자연적 식생지역과 동일하게 복원하고 폐광 후 승인 받기에 적당한 생산성 수준까지 도달되어야 한다. 식생은 기존의 식물의 종이나 도입종을 사용하여도 무방하다.

(2) 식물의 종묘와, 비료, 관개 등 식물재생장의 성공을 확실하게 하기 위한 일들이 마무리된 후에 책임관리기간이 시작된다.

(3) 평균강우량이 66 cm 보다 많은 지역에서는 5년이상, 66 cm 이하의 지역은 10년 이상 책임관리 해야한다.

(4) 계약 종료후에도 식물의 자립에 필요한 일반 경작 행위는 책임관리기간중 허용된다.

(5) 강우량이 66 cm 보다 많은 경우 식생은 조절 관리국에 의해 2년이 요구되지 않는다

책임관리기간의 마지막 해의 성장기에 성공기준에 도달해야 하며 강우량 66cm 이하 지역은 책임기간에서 마지막 2년 중에 성공기준에 도달하여야 한다.

(6) 재식생지역의 식생완성, 생산성, 묘목발아 등의 요소들이 90% 통계적신뢰한계에 부합하면 조절관리국의 성공승인이 고려될 것이다.

미 연방정부에서는 광해지역 복구를 위하여 1978년부터 매년 수십만불의 연구비를 투자하며, 전문가양성을 위해 수천만불의 예산을 편성, 집행하고 있으며, 또한 1977년 이전의 광해지역 복구를 위하여 석탄의 경우 노천채굴시 생산 톤당 35센트, 지하채굴시 15센트, 갈탄의 경우 10센트씩 부과하여 기금을 조성하고 그 기금을 다음과 같은 광해복구사업에 사용하고 있다.

- 채탄으로 인한 지표 및 수질오염의 회복
- 공동의 충전 및 갱구의 봉쇄
- 광해를 입은 농경지의 복구
- 미복구지의 매입
- 광해복구에 대한 연구시험비

5.2 광산폐수 및 폐기물 처리 기술의 개발 및 시행

5.2.1 광산폐수의 처리

광산폐수의 처리기술에는 물리화학적 처리, 배수법, 갱구밀폐법, 소택지법 등이 있다. 표 11에 이러한 처리방법의 장단점을 요약하였다.

국내 휴·폐광 폐수 정화 대책을 제언하면 다

음과 같다. 광산폐수는 황화광물이 존재하여 공기 및 물에 노출되면 어느 곳에서도 발생할 수 있다.

우리나라의 경우에도 폐광폐수의 특징과 성장, 그리고 경제성에 따라 각자 폐광폐수의 성격에 맞는 처리방법을 개발해야 하겠다.

5.2.2 광산폐기물의 처리

광산폐기물의 처리방법으로는 매립법, 고�형화/불용화법, 채굴적 충전방안, 토양세척법 등이 있다(표 12). 매립법은 쓰레기 매립장 등에 이미 시공된 기술로서 현재 일부 금속광산에서 설계, 시공 중에 있다. 고�형화/불용화법은 현재 국내의 시공실적이 없으며 시공비가 많이 드는 단점이 있다. 토양세척법도 국내의 시공실적이 전무라며 토양세척시 발생하는 폐수처리문제와 농축 유해 슬러지 처분이 문제가 된다.

5.2.3 산성 광산 排水의 관리

산성 광산 排水의 제어법으로는 지하광산을 덮어서 황철광의 산화에 필요한 산소를 차단하거나 산소의 이용력을 제한시키는 것이 가능하다. 노천채광의 경우에 산성광산 배수의 문제는 토지를 재빨리 개간함으로써 효과적으로 제어할 수 있다. 이것은 광석부스러기 위해 表土를 퍼주고 식생이 자라서 상부를 덮도록 해주는 것이 포함된다. 이와 똑같은 기법이 광석부스러기 무더기에도 효과적이다.

황철광의 광물들을 산소의 접촉으로부터 차단

표 11. 광산폐수 정화 방법과 장단점 비교.

대 책		장 점	단 점	비 교
적극적	물리화학적 처리법	정확효율 우수함	동력, 인력 소요	운영비 지속적 관리비 저렴
소극적	배수법	저 렬	단기적	
	갱구밀폐법	저렬, 폐수유출봉쇄	다른 개소 누수 위험	
	소택지법	최소 관리비	정화기간 불확실, 소택지 부지 확보 어려움	

표 12. 휴·폐광 폐수에 대한 국가별 정화처리방법 사례와 국내 폐수처리대책 방향.

정 화 대 책		사 례	비 고
일	폐갱구 폐쇄법 물리화학적방법	• 舊松尾 광산(1972 폐광) 폐쇄(Plug)갱굴부터 산성폐수유출. 北上川오염	현재 물리화학적 폐수처리방법은 거의 철거된 상태
영	소택지법 (최근)	• Wheal Jane 주석광 (1991폐광), 갱구 폐쇄 Plug붕괴, 주변하천 오염, 물리화학적 처리법운영, 장기적 방법으로 소택지법 추진 (1995)	휴·폐광 폐수정화방법은 기본적으로 자연정화법을 기본으로 함
미	탄 광 소택지법 ALD법 (Anoxic Limestone Drainage)	• 펜실바니아, 버지니아, 서버지니아 등 탄광지대에서 특히 소택지법 활용	소택지를 기본으로 경우에 따라서 ALD법 병행
	매립법	• Richmond Hill 금은 토천광, 광산폐기물 야적장에서 산성폐수 유출, 하천 오염	노천채굴적으로 광미 이동, 석회석 및 토양으로 매립, 뿌리가 짧은 다년생 식물 식재
국	소택지법	• Yellowpine Unit 금광산, 광미중의 시안 및 중금속이 하천 유입	시안박테리아이용, 소택지
	물리화학적 방법	• Crystal 광산, 갱내수 유출 • Eagle 아연광산, 광산폐기물로부터 산성폐수 유출 인근 하천 오염	일부 적용, 간이식
	Grouting법	• Mike Horse 광산, 지표수가 갱내로 유입 산성폐수가 유출	지표수 유입 지역에 Grouting으로 밀폐
	소택지법	• Lilly/Orphan Boy 광산, 갱수 유출로 하천오염	1994년 시공
	소택지법	• Blackfoot 광산촌 (구리 및 모리브덴광), 광산폐기물로부터 침출소 발생	소택지법, 하천방향 변경, 광석광미 제거 등 복합적 복구 대책 수행
선진국 동향		<ul style="list-style-type: none"> • 폐(탄)광 폐수처리 대책 - 장기적으로 자연정화법 선호 • 미국-자연정화법(소택지 정화법)기술 개발, 기술선도 및 보급 - 약 400개 이상의 소택지가 시공된 것으로 보고됨 	

자료: 박용하, 1994

할 수 없을 때에는 황의 산화에 관여하는 철산
화세균 및 유황산화세균의 활동을 억제함으로써
적어도 이론상 산성광산배수 문제를 제어할 수
있다. 광범위살균제 (germicides)는 그 자체가
위험한 오염물질이므로 이러한 목적에 사용될
수 없다. 실험실에서는 낮은 농도의 몇몇 카아
복시산과 알파케토산으로 철산화세균 및 유황산
화세균을 잘 제어할 수 있었다. 이러한 화합물
들은 다른 생물에게 유해하지 않다고 알려져 있

다.

Desulfovibrio 및 *Desulfotomaculum*의 활동
을 이용하여 산성광산배수를 처리하는 새로운
기법의 실현성이 실험실 규모에서 증명되었다.
먼저 광산배수는 톱밥과 같은 다량의 유기성 폐
기물과 섞여진다. 이렇게 되면 호기성 및 혐의
혐기성 셀룰로오스 분해미생물의 활동에 의해
산화환원전위가 낮아지며 황산염 환원세균이 이
용할 수 있는 중간 분해산물을 생성한다. 발생

된 황화수소는 처음에 3가철을 2가철로 환원시키며 後者를 FeS로 침전시킨다. 이 과정을 통해 pH가 중성으로 회복되고 광산배수로부터 철과 유황이 제거되나 이 제안된 공정의 경제 및 환경적 실현성은 아직 더 추구되어야 한다.

5. 2. 4 광미의 활용

국내에는 대형금속 광산을 비롯하여 군소광산에 이르기까지 수많은 휴·폐광산이 산재해 있고 그에 따른 광미의 발생량도 대단한 규모로 추정되고 있다. 그간 휴 폐광산의 광미 집적장의 관리가 불완전하여 토사 붕괴의 위험은 물론 지역에 따라서는 중금속의 오염에 대한 우려도 크다. 이러한 문제점을 해결하여 국토관리 및 토지이용도를 높이기 위하여 중앙정부나 지방정부 그리고 관련업계에서도 많은 관심을 가지고 있고 또 실제 복원사업도 시행되고 있다. 현재 대부분의 복원사업은 토목공사 및 사방사업이 대부분이었으며 일부는 중금속오염을 치유하는 연구개발도 시작되고 있다. 그러나 원천적으로 자원을 개발할 당시에 오염원을 원천적으로 관리하는 차원에서의 광미처리 방법을 강구하여야 할 것이다. 그러나 휴 폐광산의 경우에는 환

경문제가 불가피하게 대두되었으므로 이의 치유에 대하여 근본적인 대책이 필요하다. 이의 한 방법으로 광미도 휴자원으로 생각할 수 있으며, 활용방법은 없는지 검토하여야 할 것이다. 이와 같이 광미의 활용성을 검토하기 위해 몇몇 폐광산의 광미에 대하여 주성분을 살펴보면 표 13에 보인 것처럼 대부분의 광미가 철분, 규소, 알루미늄 및 칼륨이 주성분으로 구성되어 있다. 특이한 것으로는 광신광산의 광미가 높은 망간성분을 보이고 있고, 광신, 군북, 상동, 연화, 제2연화의 광미는 상당량의 칼슘이 함유되어 있어 석회석이 수반되고 있다. 또한 이들 대부분의 광산은 황화물의 광물을 개발하였기 때문에 유황함량이 많다. 그 중에서도 광신, 연화 및 제2연화의 광미는 4%~17% 정도의 유황성분을 함유하고 있다. 이들 광미의 활용을 위해서는 원소의 성분도 중요하지만 그보다 더 중요한 것은 구성 광물이다. 대부분이 점토광물, 석영, 석회석 그리고 장석 등이 함유되어 있고 황철광이나 유비철석 등도 함유되어 있기 때문에 용도에 따라서는 선별공정도 거칠 수 있다. 앞으로 광미를 자원으로 활용하기 위한 용도개발 연구가 진행되어야 한다.

표 13. 국내 휴·폐광산의 광미 주성분 예.

성분 광산명	Fe	Si	Mg	Mn	Na	Ca	Al	K	Total. S
광신광산	18.3	10.4	0.89	7.66	0.023	3.79	2.11	1.02	8.63
군북광산	11.9	20.6	1.47	0.069	1.44	5.30	6.04	2.33	2.31
금정광산	3.44	31.8	0.93	0.036	1.36	0.81	6.80	2.91	0.21
다덕광산	5.36	33.0	0.090	0.021	0.13	0.57	3.02	1.47	2.00
달성광산	11.0	23.6	0.48	0.046	0.33	0.067	7.09	3.80	-
상동광산	10.1	23.5	1.53	0.53	0.35	9.01	4.49	1.62	0.51
연화광산	24.5	11.6	0.46	0.81	0.015	6.13	1.85	0.98	17.6
유천광산	2.12	32.2	0.62	0.021	0.45	0.48	4.25	2.62	0.84
일광광산	5.35	32.5	0.32	0.085	0.35	0.14	5.47	2.91	0.39
제2연화	16.0	16.4	0.84	3.03	0.039	12.0	2.41	0.19	4.38

자료: 오종기, 1996

표 14. 침하방지대책의 장단점 비교.

방 법	특 징	장 점	단 점
수압식 충진법	수압을 이용하여 흙, 시멘트 등을 채굴적에 충진	시공성이 뛰어나, 가장 널리 이용되는 방법	충진재의 압축율이 불확실함
공압식 충진법	공기를 이용하여 흙, 시멘트 등을 채굴적에 충진	물에 민감한 공간에 이용가능	원거리 충전시, 비산회 (fly ash) 외에는 수평충 진이 곤란함
비산회 주입법	수압 및 공압에 의하여 비산회 (fly ash)를 원거리 충전	공압으로 주입시, 낮은 안식각으로 원거리까지 충진가능. 수압으로 주입시, 파쇄 대의 공극까지 침투가능	산성 또는 염기성 환경 하에서 침출수로 인한 환경오염 가능
그라우팅법	시멘트나 화학적 그라우트로 채굴공간을 충진	지반안정 효과가 뛰어나	비용이 높음
동 적 압밀법	지표에서 높은 에너지의 충격으로 침하를 유도하는 방법	미확인 지역에 대해서도 경제적	천부 함몰지역에만 유용함
발파법	천반과 바닥을 발파하여 상부층과 뒤채움벽을 지지하는 방법	천반이나 하반이 견고할 경우 효과적인 지지력을 얻을 수 있음	탄전지역에서는 사용된 바가 없으며, 일본의 경 우 석회석채굴공동에 적용한 바가 없음
그라우트 기둥이용법	다수의 시추공에 시멘트를 부어 지반을 그라우트 기둥으로 지지하는 방법	시멘트 그라우트 이용법중 가장 경제적	그라우트 기둥의 강도변수 및 기둥간격에 대한 지침이 없음
개착후 충진법	채굴적부분을 완전히 개착한 후 충진하는 방법	천심도 광산에 적용가능 하며, 빈공간을 완전히 채울 수 있음	지상구조물이 있거나, 물로 충전된 광산에서는 적용이 제한적이며, 굴착 측벽의 안전성이 보장안됨

자료: 권광수, 1996

5. 2. 5 지반침하 대책

폐광산 지역은 또한 지반 침하의 우려를 안고 있다. 지반침하 방지 대책에는 여러 가지가 있는데 표 14에 그 특징과 장·단점을 요약하였다.

우리나라에 있어서도 각 폐광의 특성에 맞춰 적절한 침하방지 대책을 세워야 한다.

5. 3 폐광산 지하공간의 활용

폐광산은 관리하기에 따라서는 그 지하공간을 유용하게 이용할 수 있다. 표 15에 외국의 지하공간 활용예를 요약하였다.

우리나라에서도 폐광산의 폐갱도와 채굴적을

다음과 같은 분야에 이용할 수 있다.

(1) 군사적 이용

군 지하 상황실, 방어진지, 군수품 보관 창고, 지하 대피소 등으로 이용할 수 있다.

(2) 지하관광 코스로 개발

폐광의 갱도 등을 개발하여 관광자원으로 활용하는 것이다.

(3) 농산물재배 및 저장고로 이용

지하에서는 버섯류를 재배할 수 있고 배추, 무, 감자, 고구마, 밤 등을 보관창고로 활용할 수 있다.

(4) 해산물 발효장 및 저장고로 활용

폐광의 지하를 젓갈류의 발효, 숙성장 및 저

표 15. 외국의 폐광의 지하공간 활용예.

국 가	활 용 예	비 고
일본·프랑스	석유비축기지	건고한 암반으로 되어있는 갱도와 넓은 공간의 채굴적을 이용한다
일 본	지하관광코스	관광사업의 일환으로 추진한다
	지하대피소	민방위 훈련용
	과학기술연구 시험장	신강(神岡)광산을 이용하고 있다 양자붕괴 관측실험, 압축공기 저장 실험 공간으로 이용할 수 있다
	농산물 발육장 및 저장고	온도변화, 먼지피해가 적다
	생수채취	

장고로 이용할 수 있다.

(5) 과학실험용 공간으로 활용

압축공기 발생 및 저장 시험, 지하 무동력 시험, 반도체 제조시험 등 과학실험용 공간으로 폐광을 활용할 수 있다.

6. 결 론

우리나라에 산재되어 있는 휴 폐광에 대한 환경오염관리를 적정화하고 자연생태계를 온전히 보호하려면 다음과 같은 조치가 필요하다.

(1) 폐광에 대한 자세한 조사가 선행되어야 한다. 휴·폐광된 금속광산을 세부적(광산명, 광종, 위치, 휴·폐광 연도 등)으로 조사하고 목록화 하여야 하며 여기에서 발생하는 오염도를 측정하여야 한다.

(2) 오염도가 심한 지역의 복원순위를 정하고 오염원의 제거, 격리, 확산방지 사업이 실행되어야 한다.

(3) 오염원의 정화 및 생태계 복원기술을 신장시키며 전문인력을 양성하여야 한다.

(4) 휴·폐광의 사후관리 및 복원에 대한 법규가 제정되어야 한다.

(5) 휴·폐광된 광산지역의 오염처리 및 복원을 위한 재원이 마련되어야 한다.

참 고 문 헌

권광수(1996), 국내 휴·폐광산의 환경영향분석 및 활용방안, 휴·폐광산의 환경오염복구 및 활용방안에 관한 심포지엄, pp.55-73.

권기현(1996), 강원남부 폐광지역의 환경보전 및 이용계획, 한국토양학회 강원지부결성 및 토양환경세미나, pp.49-66.

민정식, 권광수, 조원재, 홍영국, 홍성규, 정영욱(1995), 폐광에 따른 광산지역환경개선 연구.

민정식, 정영욱, 이현주, 이동남(1996), 광산 지역, 광해조사 및 대책 연구, 한국자원연구소, KR-96(C)-41.

박용하(1994), 휴·폐광된 금속광산 지역의 오염관리 대책, 한국환경기술개발원, KETRI/1994/RE-14 연구 보고서, pp.228-248.

박용하(1996), 휴·폐광된 금속광산지역의 오염현황 및 관리방안, 한국토양환경학회 강원지부 결성 및 토양 환경세미나, pp.35-43.

오종기(1996), 폐광산 오염평가 및 광미 활용방안, 휴·폐광산의 환경오염복구 및 활용방안에 관한 심포지엄, pp.15-51

최용수(1996), 휴·폐광산지역 오염토양 복원 대책, 휴·폐광산의 환경오염복구 및 활용방

안에 관한 심포지엄, pp.77-105
Altas, RM. and Bartha, R. (1987), Micro-

bial Ecology, Addison-wesley, p.387.