

연구논문

오봉댐 유역의 폐탄광에 의한 오염특성과 감소방안 연구

박선환 · 장윤영 · 정정호 · 손정호 · 박석호*

광운대학교 환경공학과, 한국수자원공사*

(2006년 10월 20일 접수, 2007년 2월 27일 승인)

Investigation on the Contamination of the Vicinity of Abandoned Coal Mines Located Near the Obong Dam and Preventive Measures

Sun Hwan Park · Yoon Young Chang · Jeong Ho Jeong · Jeong Ho Son · Seok Hyo Park*

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University,

Korea Water Resources Corporation*

(Manuscript received 20 October 2006; accepted 27 February 2007)

Abstract

This study has researched the management status and the pollution level of water, soil, stream sediments of 11 abandoned coal mines out of a total of 12 within Obong-Dam area except Bukyung mine, which was submerged when constructing Obong-Dam, and selected areas which are in needs to have pollution control facilities in the first place.

From the results of examination on the runoff at the waste rock pile and mineheads, the runoff from Sueun mine (pH, Fe, Al), Samwon mine (pH, Al), Wangdo mine (pH, Al), Mose mine (pH, Fe, Al) and Daeryeong mine (pH) exceeded the permissible discharge standards of the water quality, but the water at merging point with Obong-Dam after joined with Doma branch satisfied both Water Quality Standards and Drinking Water Quality Standards.

In regard to groundwater contamination, it is found that areas where exceeded the Drinking Water Quality Standards are Wangdo mine (pH), Jangjae mine (pH, Zn), Daeryeong mine (pH) whereas all areas satisfied Soil Contamination Warning Standards of Soil Environmental Conservation Law.

When comparing a research result on underwater sediments of branches of abandoned mines to the EPA Guidelines for classification of great lakes harbor sediments, Dongguk Gaerim (Fe), Jungwon mine (Fe), Daebo mine (Mn), Samwon mine (Mn) and Daeryeong mine (Mn) showed mid-level of contamination, whereas Sueun (Fe, Mn), Daebo mine (Fe), Woosung mine (Fe, Mn), Wangdo mine (Fe, Mn), Mose mine (Fe) and Daeryeong mine (Fe) showed high-level of contamination.

In addition, contamination levels of underwater sediments in Wangsan and Doma branch where abandoned mine's branches merge together, Wangsan branch showed no contamination at all whereas Doma branch shows mid-level of contamination which reflect the Doma branch is affected by waste rock pile and minehead runoff of the abandoned mines in the Doma branch area.

It is concluded that Mose mine and Sueun mine required treatment of acid mine drainage, and Wangdo, Jungwon, and Samwon mines were in need of mine tailing and erosion control work.

The Samwon mine additionally required a control system for closed minehead runoff.

Although the Samwon mine reached a high concentration of Al, Mn Ca^{2+} , SO_4^{2-} in the runoff, the levels decreased after it was combined with a tributary.

It has been concluded that after further monitoring of the cause of pollution, a preventive measure system may be needed to be built.

Key words : Abandoned Coal Mine, Acidic Mine Drainage, Soil, Groundwater, Sediment, Contamination

1. 서론

강릉시의 경우 1995년 명주군과 통합하여 행정면적이 약 14배 증가하였고 지속적인 도시화와 산업화에 따라 용수 수요 증가율이 커져 1996년 58,800m³/일에서 2011년 178,600m³/일로 증가할 것으로 예측(강릉시, 1997)되고 있다. 그러나 주요 수원인 남

대천의 경우 1989년 도암댐 건설이후 강릉수력발전소 발전에 따른 수질악화로 취수가 중단된 상태로 유일한 수원인 오봉댐의 중요성이 날로 증가하여 건교부 등에 의해 댐재개발 계획(건설교통부·한국수자원공사, 2001, 기획예산처, 2002)이 수립되어 있다. 오봉댐 유역현황을 살펴보면 그림 1과 같이 유역



그림 1. 연구대상지 현황

면적 110.3km², 유로연장 16.8km로 지방2급 하천인 도마천과 왕산천으로 이루어져 있다.

오봉댐 유역내 광산은 강릉시 왕산면 도마리, 목계리 등에 총 12개소로써 대부분 1990년대 중반 폐광된 후 관계기관에 의해 산림복구 사업이 시행되었으나, 2002년 태풍 “루사”와 2003년 태풍 “매미”에 의한 영향으로 사면붕괴, 폐석유실 등이 이루어졌다.

본 연구에서는 홍제정수장의 취수원인 오봉댐 유입하천인 왕산천 및 도마천 유역내 폐광산 관리현황과 인근지역 및 수계의 수질, 지하수, 토양, 하천퇴적물에 대한 오염도를 조사함으로써 폐광산에 의해 상수원에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 방법을 제안 하고자 본 연구를 수행하였다.

II. 현장측정

1. 조사지점

오봉댐 유역내 폐광산 지역의 토양 및 오봉댐유역의 폐탄광에 대한 관리실태와 오염도를 파악하기 위하여 하천수질은 표 1, 2 그림 2, 3과 같이 총 77개 지점, 지하수질은 표 3, 그림 4와 같이 총 7개 지점, 토양은 표 4, 그림 5와 같이 총 28개 지점, 하상퇴적물은 표 5, 그림 6과 같이 총 25개 지점을 선정하였다.

2. 조사항목

오염물질 분석항목은 기존 폐탄광의 오염사례(이춘택, 유시영, 1983; 허봉, 유재영, 1998; 심연식, 2002)를 참고하여 표 6과 같이 하천수질은 총

표 1. 1차 하천수질 조사지점

번호	위치	번호	위치
1	왕산면 목계리 수은탄광 상류	30	왕산면 도마리 왕산면소재지하류
2	왕산면 목계리 수은탄광 폐석장	31	왕산면 왕산리 동국탄광 직하류
3	왕산면 목계리 수은탄광 폐석장 하류	32	왕산면 왕산리 동국탄광 폐석장 하류
4	왕산면 목계리 도마천 유입전	33	왕산면 도마리 계림탄광 폐석장 상류
5	왕산면 목계리 본마을하류	34	왕산면 도마리 계림탄광 폐석장 하류
6	왕산면 목계리 대보탄광 상류	35	왕산면 도마리 도마천 유입전
7	왕산면 목계리 대보탄광 폐석장 하류	36	왕산면 도마리 계림탄광 지류합류후
8	왕산면 목계리 도마천 유입전	37	성산면 오봉리 대령탄광 상류
9	왕산면 목계리 사기점마을	38	성산면 오봉리 대령탄광 폐석장 하류
10	왕산면 도마리 삼원탄광 상류	39	성산면 오봉리 도마천 유입전
11	왕산면 도마리 삼원탄광 폐석장 유출수	40	왕산면 왕산리 장재광산 갭내수
12	왕산면 도마리 삼원탄광 폐석장 하류	41	왕산면 도마리 삼원탄광 유입지류
13	왕산면 도마리 도마천 유입전	42	왕산면 왕산리 임내골마을 상류
14	왕산면 도마리 석우동마을	43	왕산면 왕산리 장재교
15	왕산면 도마리 중원탄광 상류	44	왕산면 목계리 본마을 상류
16	왕산면 도마리 중원탄광 폐석장 하류	45	왕산면 도마리 둔지마을상류
17	왕산면 도마리 도마천 유입전	46	왕산면 왕산리 쭈발벼랭마을 상류
18	왕산면 도마리 탑동마을	47	왕산면 도마리 새재밀마을 새재교
19	왕산면 도마리 우성탄광 상류	48	왕산면 왕산리 왕산교
20	왕산면 도마리 우성탄광 폐석장 하류	49	왕산면 목계리 목계교 상50m지류 상류
21	왕산면 도마리 도마천 유입전	50	왕산면 목계리 목계교 상50m지류 하류
22	왕산면 도마리 왕산초교앞	51	왕산면 도마리 입고지교 지류 상류
23	왕산면 도마리 왕도탄광 상류	52	왕산면 도마리 입고지교 지류 하류
24	왕산면 도마리 왕도탄광 폐석장 하류	53	왕산면 도마리 본동윗부락 지류 상류
25	왕산면 도마리 도마천 유입전	54	왕산면 도마리 본동윗부락 지류 하류
26	왕산면 도마리 왕산면소재지앞	55	왕산면 도마리 새재밀 지류 상류
27	왕산면 도마리 모세탄광 상류	56	왕산면 도마리 새재밀 지류 하류
28	왕산면 도마리 모세탄광 폐석장 하류	57	왕산면 왕산리 곱자리윗부락 지류 상류
29	왕산면 도마리 도마천 유입전	58	왕산면 왕산리 곱자리윗부락 지류 하류

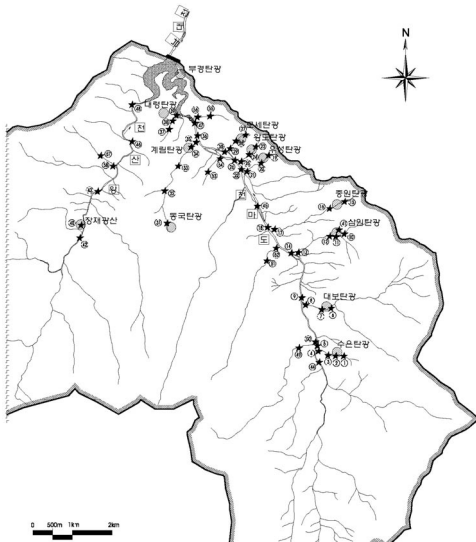


그림 2. 1차 수질 측정지점 위치도

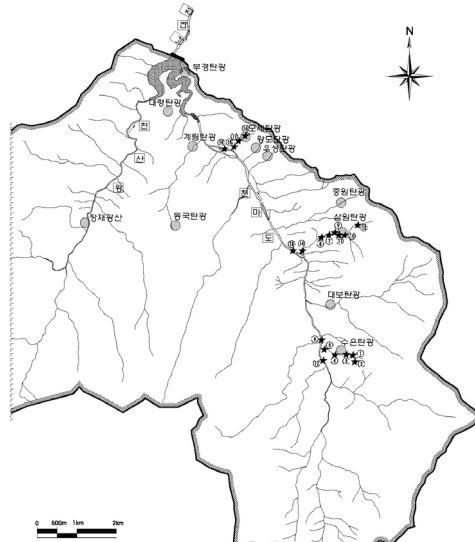


그림 3. 2차 수질 측정지점 위치도

표 2. 2차 하천수질 조사지점

번호	위 치	번호	위 치
1	왕산면 목계리 수은탄광 폐석장 유출수	11	왕산면 도마리 삼원탄광 상류 폐석장
2	왕산면 목계리 지류 상류	12	왕산면 도마리 삼원탄광 지류 최상류
3	왕산면 목계리 수은탄광 유출수 합류후	13	왕산면 목계리 본마을상류
4	왕산면 목계리 수은탄광 기존 폐석장	14	왕산면 도마리 삼원탄광 도마천유입전
5	왕산면 목계리 도마천 유입전	15	왕산면 도마리 석우동마을
6	왕산면 목계리 본마을하류	16	왕산면 도마리모세탄광폐석장 유출수
7	강릉시 왕산면 도마리 삼원탄광 갯내수	17	왕산면도마리모세탄광폐석장하류100m
8	왕산면 도마리 삼원탄광 갯내수 유입후	18	왕산면 도마리 도마천 유입전
9	왕산면 도마리 삼원탄광 지류	19	왕산면 도마리 왕산면소재지하류
10	왕산면 도마리 삼원탄광 폐석장 유출수		-

표 3. 지하수질 측정지점

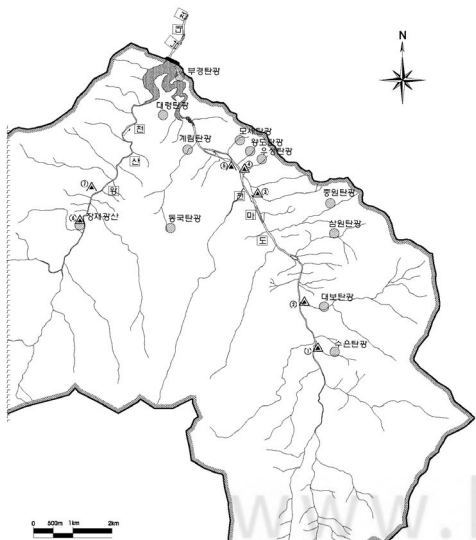


그림 4. 지하수질 측정지점 위치도

번호	위 치	비고
1	왕산면 목계리 본마을	수은탄광
2	왕산면 목계리 사기점마을	대보탄광
3	왕산면 도마리 탑동 북측 150m 마을	중원탄광
4	왕산면 도마리 본동마을 도마천 맞은편	우성탄광
5	왕산면 도마리 본동마을	모세탄광
6	왕산면 왕산리 장재마을	장재광산
7	왕산면 왕산리 왕성초교 인근부락	대 조 군

표 4. 토양 측정지점

번호	위 치	번호	위 치
1	왕산면 목계리 폐석장	15	왕산면 도마리 도마천유입전(밭-싹토)
2	왕산면 목계리 도마천 유입전(밭)	16	왕산면 도마리 폐석장
3	왕산면 목계리 폐석장	17	왕산면 도마리 도마천 유입전(밭)
4	왕산면 목계리 도마천 유입전(밭)	18	왕산면 왕산리 동국탄광(예상지점) 밭
5	왕산면 도마리 삼원탄광 폐석장	19	왕산면 도마리 계림탄광(예상지점) 밭
6	성산면 오봉리 폐석장	20	왕산면 도마리 도마천 유입전(밭)
7	왕산면 도마리 도마천유입전(밭-표토)	21	성산면 오봉리 폐석장
8	왕산면 도마리 도마천유입전(밭-싹토)	22	왕산면 왕산리 장재마을 갱구앞(표토)
9	왕산면 도마리 폐석장	23	왕산면 왕산리 장재마을 갱구앞(싹토)
10	왕산면 도마리 도마천 유입전(밭)	24	왕산면 목계리 목계교(신) 상류 (밭)
11	왕산면 도마리 폐석장	25	왕산면 도마리 입교지교(밭)
12	왕산면 도마리 도마천 유입전(밭)	26	왕산면 도마리 본동윗마을(밭)
13	왕산면 도마리 폐석장	27	왕산면 도마리 새재밭마을 (밭)
14	왕산면 도마리 도마천유입전(밭-표토)	28	왕산면 왕산리 곰자리윗부락(밭)

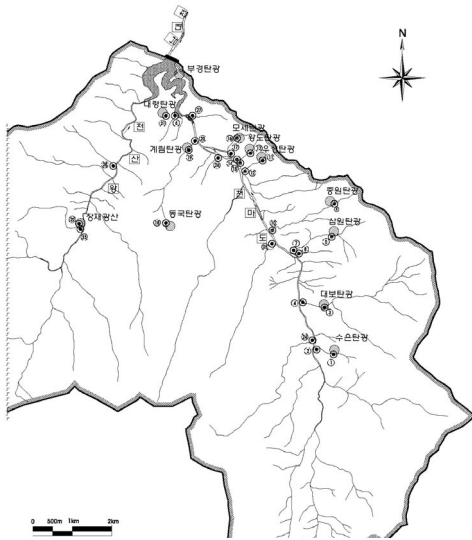


그림 5. 토양 측정지점 위치도

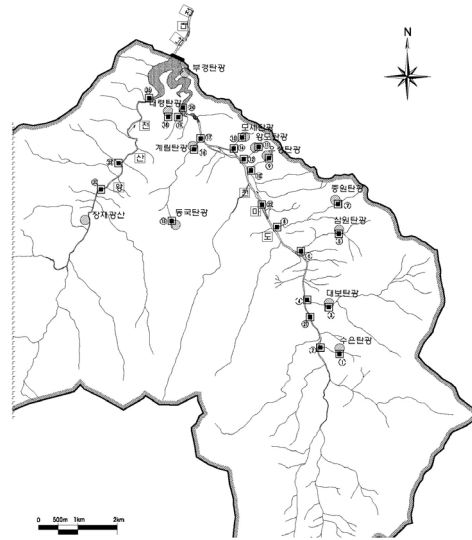


그림 6. 하상퇴적물 측정지점 위치도

표 5. 하상 퇴적물 측정지점

번호	위 치	번호	위 치
1	왕산면 목계리 폐석장앞 하천	14	왕산면 도마리 도마천 유입전
2	왕산면 목계리 도마천 유입전	15	왕산면 왕산리 도마천 유입하천
3	왕산면 목계리 폐석장앞 하천	16	왕산면 도마리 도마천 유입하천
4	왕산면 목계리 도마천 유입전	17	왕산면 도마리 도마천 유입전
5	왕산면 도마리 삼원탄광 폐석장앞 하천	18	왕산면 오봉리 폐석장앞 하천
6	왕산면 도마리 도마천 유입전	19	왕산면 오봉리 저수지 유입전
7	왕산면 도마리 폐석장앞 하천	20	왕산면 왕산리 장재마을 장재교지점
8	왕산면 도마리 도마천 유입전	21	왕산면 목계리 목계교(신)
9	왕산면 도마리 폐석장앞 하천	22	왕산면 목계리 둔지마을 상류 100m
10	왕산면 도마리 도마천 유입전	23	왕산면 왕산리 곰자리윗부락
11	왕산면 도마리 폐석장앞 하천	24	왕산면 도마리 저수지 도마천 유입점
12	왕산면 도마리 도마천 유입전	25	왕산면 왕산리 저수지 왕산천 유입점
13	왕산면 도마리 폐석장앞 하천		-

표 6. 조사항목별 분석항목

구분	분석항목
하천수질	수온, pH, DO, Cd, Cu, As, Pb, Zn, Mn, Fe, Al, Hg, Cr ⁶⁺ , Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻
지하수질	수온, pH, DO, Cd, Cu, As, Pb, Zn, Mn, Fe, Hg, Cr ⁶⁺
토양 및 하상퇴적물	pH, Cd, Cu, Pb, Cr ⁶⁺ , As, Hg, Al, Fe, Mn, Zn

15개 항목, 지하수질 12개 항목, 토양 및 하상퇴적물 11개 항목을 선정하였다.

3. 조사일시 및 분석방법

1) 조사일시

오봉댐 유역 폐광산에 대한 현황조사, 토양 (폐광산, 하상퇴적물, 농경지), 하천수질과 지하수에 대한 시료채취를 위하여 2003년 7월 28~7월 31일까지 1차 현장조사(시료채취포함)를 실시하였으며, 하천수질 오염이 심한 광산에 대하여 2003년 10월 28일 ~ 10월 30일까지 2차 현장조사를 실시하였다.

2) 분석방법

폐광산 주변 토양 및 하상퇴적물의 시료채취 및 분석에 있어 pH, Cd, Cu, Pb, Cr⁶⁺, As, Hg, Zn항목은 토양오염공정시험방법을 따랐으며, Al, Fe, Mn항목은 EPA(3050B: US EPA SW-846, Test methods for evaluating solid wastes physical/ chemical methods, 1996)에 의해 전처리후 분석하였다.

또한 폐광 유출수, 하천수, 지하수의 시료채취 및 분석은 수질오염공정시험방법 및 먹는물공정시험방법을 따랐으며, Ca²⁺항목은 IC분석법(Ion chromatography, DX500(USA, DIONEX)), SO₄²⁻항목은 STD(Standard methods for the examination of water and wastewater 20th, 1998) 4110법에 따라 분석을 시행하였다.

III. 조사결과 및 고찰

1. 오봉댐 유역의 폐광산 현황

오봉댐 유역에 분포하는 12개소의 폐광산중 금속

광산인 장재광산을 제외하고 대부분 석탄광산으로 조사되었으며 대부분 1990년초에 폐광되었다.

폐광산 관리현황을 조사한 결과 표 7과 같이 수은탄광, 대보탄광, 삼원탄광, 중원탄광, 우성탄광, 모세탄광은 강릉시, 강릉영림서, 석탄산업합리화사업단에 의해 1990년대에서 2000년대 초까지 복구사업이 이루어졌으며, 부경탄광은 오봉댐 건설시 수몰된 것으로 조사되었다.

대령탄광의 경우 오봉댐과 인접한 국도35호선 주변에 위치하고 있어 수해로 인해 지표면에 폐석장이 노출되었으나 현재 수해복구공사로 복구가 완료된 상태다.

동국탄광, 계림탄광의 경우 현장 및 주민 탐문조사 결과 갱구와 폐석장 위치를 확인하지 못하였으나, 양호한 산림상태와 하천상태로 보아 환경에 미치는 영향이 없는 것으로 조사되었으며, 왕도탄광의 경우 오봉댐 유역의 폐광산중 폐석장 규모가 가장 크나 복구사업이 시행되지 않아 하류 하상에 침전물이 유출되어 있고, 장재광산의 경우 유출수 발생은 없으나 수직갱이 방치되고 있는 것으로 조사되었다.

산림복구가 이루어진 후 수해 등에 의한 붕괴로 유출수 발생과 하류에 침전물이 나타난 폐광산은 수은탄광, 삼원탄광, 중원탄광, 우성탄광, 모세탄광이며, 폐석장 및 갱내수가 유출되는 곳은 수은탄광 1,390m³/일, 삼원탄광 1,180m³/일, 모세탄광 380m³/일로 조사되었다.

2. 오봉댐 유역의 오염도 현황

1) 수질현황

(1) 폐광산별 유출수질 현황

폐광산에서 발생하는 적치장 및 갱내 유출수와 이들 유출수가 도마천, 왕산천으로 유입되는 지천의 수질조사 결과를 폐광산 상류 및 기타수계의 수질조사결과(대조군)와 비교하여 오염도가 2배 이상 차이가 발생하는 오염물질은 표 8과 같이 pH, Zn, Mn, Fe, Al, Ca²⁺, SO₄²⁻로 나타났다.

그러나 폐광산중 오염도가 가장 높은 폐석장 및 갱내수의 수질조사 결과 그림 7과 같이 수질환경보

표 7. 유역내 폐광산 관리현황 및 문제점

광산이름	소재지	광종	채굴기간	현황 및 문제점
수은	왕산면 목계리	석탄	1958~ 1990	<ul style="list-style-type: none"> • 2002년 산림복구 • 폐석장2개소에서 유출수 발생 • 하상에 Yellow Boy현상 발생(유출수량 : 1,390m³/일, 침전물발생 유효거리 300m)
대보	왕산면 목계리	석탄	1987~ 1990	<ul style="list-style-type: none"> • 1992산림복구 • 별 문제점 없음
삼원	왕산면 도마리	석탄	1986~ 1989	<ul style="list-style-type: none"> • 1991년 산림복구 • 갱구3개소중 1개소에서 갱내수 유출(유출수량 : 1,180m³/일, 침전물발생 유효거리 50m) • 폐석장 부분붕괴
중원	왕산면 도마리	석탄	1983~ 1989	<ul style="list-style-type: none"> • 1991년 산림복구 • 폐석장 부분붕괴 • 지류하상 금속침전물 및 광미, 광폐석 분포
우성	왕산면 도마리	석탄	1987~ 1994	<ul style="list-style-type: none"> • 2002년 산림복구 • 토양피복 및 조림미시행 • 하상에 침전물 소량분포 (150m)
왕도	왕산면 도마리	석탄	1987~ 1994	<ul style="list-style-type: none"> • 폐석장 규모가 가장 크나 방치 • 하상에 침전물 소량분포(250m)
모세	왕산면 도마리	석탄	1980~ 1994	<ul style="list-style-type: none"> • 1997년 산림복구 • 폐석장 유출수로 인해 지류하상 적갈색 침전물 발생(유출수량 : 380m³/일, 침전물발생 유효거리 350m)
동국	왕산면 도마리	석탄	1974~ 미상	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 및 주민탐문결과 갱구미확인 • 주변 별문제 없음
계림	왕산면 도마리	석탄	1987~ 1994	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 및 주민탐문결과 갱구미확인 • 주변 별문제 없음
대령	성산면 오봉리	석탄	-	• 과거 폐석장이 지표면에 노출되었으나, 현재 수해복구공사로 복구완료
장재	왕산면 왕산리	금, 은	-	<ul style="list-style-type: none"> • 수직갱 방치 • 유출수 없음
부경	성산면 오봉리	석탄	-	• 오봉댐건설시 수몰

전법 시행규칙 별표 8의 오염물질의 배출허용기준 중 “청정지역(상수원보호구역)”의 기준치인 pH 5.8~8.6, Zn 1mg/l, Mn 2mg/l, Fe 2mg/l와 미국 환경보호청의 수질환경기준(EPA 1976, Quality Criteria for Water)인 Al 1mg/l를 초과하는 광산은 pH 4.1~5.4 범위를 보인 수은탄광, 삼원탄광, 왕도탄광, 모세탄광, 대령탄광과 Fe 8.19~10.89mg/l를 보인 수은탄광, 모세탄광 그리고 Al 1.42~6.41mg/l 범위를 보인 수은탄광, 삼원탄광, 왕도탄광, 모세탄광으로 나타났으며, Mn은 기준치를 모두 만족하였다.

(2) 오봉댐 유입하천수질 현황

오봉댐으로 유입되는 도마천은 총 10개의 폐석탄광이 있으며, 왕산천은 1개소의 폐금속 광산이 존재

하고 있다.

이들 폐광산의 유출수중 오염도가 기준치를 초과하는 항목인 pH, Fe, Al의 하천분류 수질 결과를 유효거리별로 나타내면 그림 8과 같다.

도마천의 수질은 pH 7.40~8.01, Fe N.D~0.15mg/l, Al N.D~0.34mg/l, 왕산천은 pH 6.91~7.25, Fe N.D~0.07mg/l, Al 0.09~0.19mg/l로 나타나 환경정책기본법상의 하천수질환경기준치를 만족하며, 먹는물수질기준및검사등에관한규칙의 먹는물 수질기준치인 pH 5.8~8.6, Fe 0.30mg/l, Al 0.20mg/l와 비교하더라도 오봉댐 유입지점에서 기준을 만족하는 것으로 조사되었다.

이는 오봉댐 유역의 폐광산의 유출수 발생량이 하천 유량에 비해 적은 것에 기인되는 것으로 판단된다.

표 8. 폐광산별 하천수질 주요항목 분석결과

구분	pH	Zn(mg/l)	Mn(mg/l)	Fe(mg/l)	Al(mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	측정지점
수은탄광	4.72~6.93 (6.05)	N.D~0.095 (0.040)	0.008~1.061 (0.466)	0.05~8.19 (1.22)	N.D~5.26 (1.90)	37.7~62.6 (51.2)	26~237 (135)	1,2,3,4(1차) 1,2,3,4,5(2차)
대보탄광	7.40~7.53 (7.46)	N.D	N.D	N.D	N.D	2.1~11.2 (7.1)	5~17 (9)	6,7,8(1차)
삼원탄광	4.43~7.63 (6.17)	N.D~0.333 (0.080)	N.D~1.512 (0.345)	N.D~0.37 (0.07)	N.D~6.41 (1.57)	3.0~47.9 (18.3)	1~154 (40)	10,11,12,13,41(1차) 7,8,9,10,11,12,13,14(2차)
중원탄광	5.73~6.38 (6.02)	N.D~0.011 (0.004)	N.D	N.D	N.D	4.4~9.1 (6.0)	4~37 (26)	15,16,17(1차)
우성탄광	5.98~7.37 (6.54)	N.D~0.015 (0.007)	N.D~0.024 (0.014)	N.D~0.06 (0.02)	N.D~0.07 (0.04)	7.4~10.7 (9.0)	6~72 (29)	19,20,21(1차)
왕도탄광	4.12~4.24 (4.18)	0.009~0.052 (0.022)	0.012~0.098 (0.041)	N.D~0.09 (0.05)	B1.42~3.14 (2.00)	1.4~3.6 (2.6)	17~62 (38)	23,24,25,26(1차)
모세탄광	3.75~4.21 (4.02)	0.050~0.060 (0.053)	0.467~0.970 (0.712)	0.77~12.13 (8.23)	2.82~8.24 (3.98)	4.9~53.1 (26.9)	123~296 (231)	27,28,29(1차) 16,17,18(2차)
대령탄광	4.78~5.46 (5.21)	N.D~0.008 (0.005)	ND~0.012 (0.004)	N.D~0.12 (0.08)	0.23~0.25 (0.24)	0.7~0.9 (0.8)	2~4 (3)	37,38,39(1차)
동국,계림탄광	7.67~7.78 (7.71)	N.D~0.009 (0.004)	N.D	N.D	0.05~0.10 (0.08)	1.1~5.1 (3.3)	3 (3)	31,33,34,35(1차)
장재광산	7.13	0.053	0.011	0.06	0.02	4.4	25	40(1차)
대조군	7.10~7.45 (7.33)	N.D~0.007 (0.002)	N.D	N.D~0.21 (0.06)	N.D~0.45 (0.14)	2.9~15.9 (6.4)	2~5 (3)	49,50,51,52,53,54, 55,56,57,58(1차)

주) ()는 측정평균치

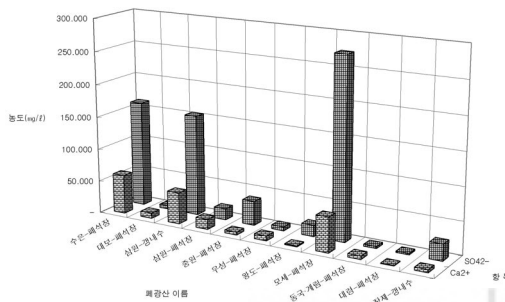
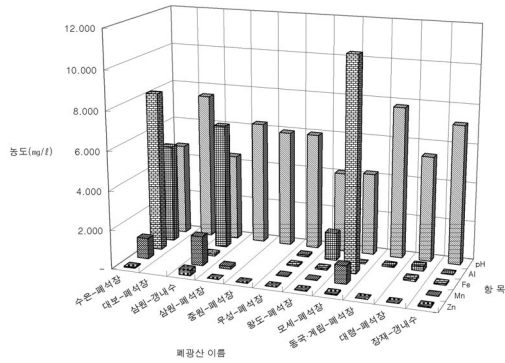


그림 7. 폐광산별 폐석장 및 경내수 수질현황

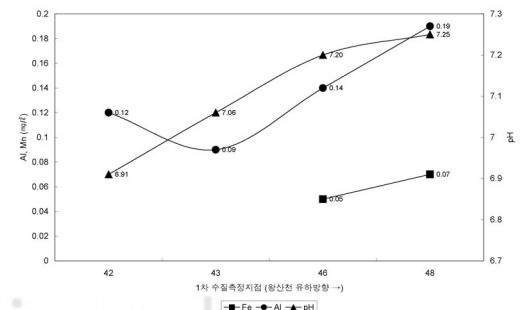
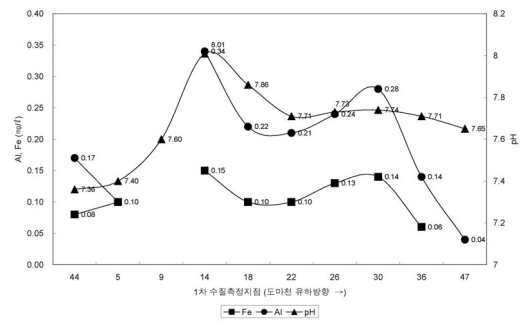


그림 8. 도마천 및 왕산천의 유하거리별 수질변화

2) 지하수질 현황

폐광산별 지하수질 조사결과가 대조군의 수질조사결과보다 높게 조사된 항목과 광산은 표 9, 그림 9와 같이 pH는 우성탄광, 왕도탄광, 장재광산, Cu는 장재광산, Zn은 대령탄광, 왕도탄광, Mn은 왕도탄광, Fe은 왕도탄광, 장재광산으로 조사되었다.

그러나 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙의 먹는물 수질기준치인 pH 5.8~8.6, Cu 1mg/l, Zn

1mg/l, Mn 0.3mg/l, Fe 0.3mg/l을 초과하는 광산은 pH는 왕도탄광, 장재광산, Zn은 대령탄광이며, 나머지 항목은 기준을 모두 만족하는 것으로 조사되었다.

3) 토양오염도 현황

폐광산 지역의 토양오염도 조사결과 표 10, 그림 10과 같이 대조군과 비교하여 오염도가 2배 이상 큰 값을 나타낸 항목은 pH, Cd, Cu, Pb, As, Hg, Fe로 나타났다.

표 9. 폐광산별 지하수질 분석결과 요약

지점	pH	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Mn (mg/l)	Fe (mg/l)
수은(1)	7.05	N.D	0.016	N.D	N.D
대령(2)	7.32	N.D	2.635	N.D	N.D
우성(3)	6.14	N.D	0.058	N.D	N.D
왕도(4)	5.40	N.D	0.282	0.152	0.11
모세(5)	7.71	N.D	0.043	N.D	0.08
장재(6)	5.53	0.010	0.025	N.D	0.12
대조군(7)	6.87	N.D	0.229	N.D	0.08

주) ()는 측정지점번호

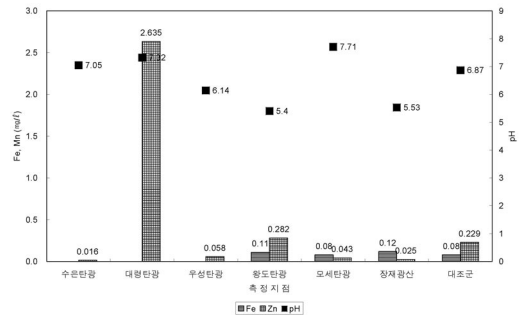


그림 9. 폐탄광별 지하수질 측정결과

표 10. 폐광산별 토양 주요항목 분석결과

구분	pH	Cd(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Pb(mg/kg)	As(mg/kg)	Hg(mg/kg)	Fe(mg/kg)	측정지점
수은탄광	3.95~5.86 (4.91)	0.039~0.100 (0.070)	2,500~13,429 (7,965)	1,212~3,769 (2,491)	N.D	N.D	30,550~40,886 (35,718)	1,2
대보탄광	4.45~6.62 (5.54)	0.073~0.103 (0.088)	8,754~16,371 (12,563)	2,365~5,020 (3,693)	0.173~1.162 (0.668)	N.D (28,310)	27,597~29,023	3,4
삼원탄광	3.92~4.94 (4.49)	0.041~0.103 (0.066)	2,064~4,387 (3,247)	2,006~2,835 (2,340)	N.D	N.D	23,351~29,982 (27,479)	5,7,8
중원탄광	4.65~5.80 (5.23)	0.044~0.127 (0.086)	3,141~6,032 (4,587)	2,864~6,398 (4,631)	N.D~1.252 (0.626)	0.030~0.051 (0.041)	23,670~25,015 (24,342)	9,10
우성탄광	5.11~6.26 (5.69)	0.010~0.035 (0.023)	1,176~2,324 (1,750)	0,761~1,486 (1,124)	N.D	N.D	27,202~31,284 (29,243)	11,12
왕도탄광	3.06~5.90 (4.64)	0.059~0.075 (0.066)	2,233~4,775 (3,674)	0,362~3,199 (2,252)	N.D	N.D	23,554~56,646 (35,669)	13,14,15
모세탄광	3.48~5.57 (4.53)	0.093~0.223 (0.158)	6,185~10,514 (8,350)	0,769~2,981 (1,875)	N.D	N.D	36,843~59,702 (48,272)	16,17
대령탄광	3.75~5.53 (4.64)	0.039~0.117 (0.078)	0,842~1,223 (1,033)	0,304~6,029 (3,167)	N.D	N.D~0.052 (0.026)	3,892~16,774 (10,333)	6,21
동국,계림탄광	5.63~6.23 (6.00)	0.024~0.052 (0.040)	1,078~2,758 (2,089)	1,815~2,400 (2,153)	N.D	N.D	18,084~22,156 (20,188)	18,19,20
장재광산	6.18~6.48 (6.33)	0.031~0.085 (0.035)	0,712~0,947 (0.830)	2,014~2,315 (2,165)	N.D	N.D	13,651~14,188 (13,920)	22,23
대조군	5.16~7.01 (6.09)	0.025~0.085 (0.064)	0,211~5,708 (2,074)	0,566~4,051 (1,968)	N.D	N.D~0.041 (0.008)	16,398~24,552 (19,834)	24,25,26, 27,28

주) ()는 측정평균치

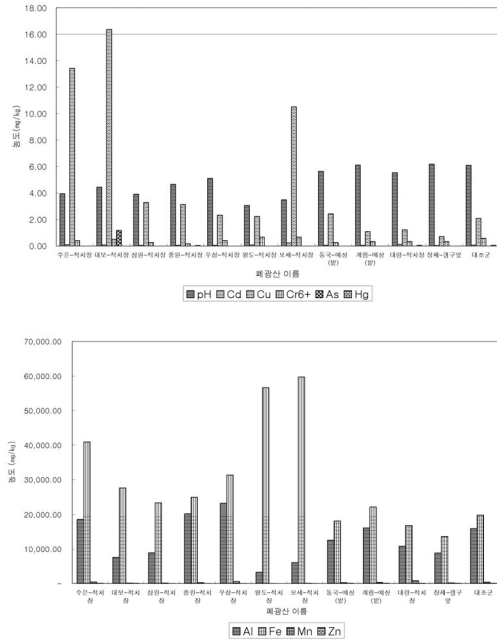


그림 10. 폐광산별 폐석장 토양오염도 측정결과

이를 탄광별로 살펴보면 pH는 동국·계림탄광과 장재광산을 제외하고 나머지 폐광산지역이 높았으며, Cd은 모세탄광, Cu는 수은탄광, 대보탄광, 모세탄광, Pb은 중원탄광, As는 대보탄광, 중원탄광, Hg은 중원탄광, 대령탄광, Fe은 모세탄광으로 조사되었다.

이들 측정 결과를 토양환경보전법상의 토양오염우려 및 대책기준중 “가” 지역 우려기준인 Cd 1.5mg/kg, Cu 50mg/kg, As 6mg/kg, Hg 4mg/kg, Pb 100mg/kg, Cr⁺⁶ 4mg/kg와 비교하면 모든 측정 항목이 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

4) 하상퇴적물 오염현황

(1) 폐광산 하류 소하천 퇴적물 오염현황

오봉댐 유역으로 유입되는 하천인 도마천과 왕산천의 하상퇴적물과 폐광산 지역에서 도마천 및 왕산천으로 유입하는 지천의 하상퇴적물 오염도를 조사한 결과 표 11과 같이 왕산천, 도마천의 퇴적물 오염도 보다 높게 조사된 항목은 pH, Cd, Cu, Cr⁺⁶,

표 11. 폐광산별 하천퇴적물 주요항목 분석결과

구분	pH	Cd(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Cr ⁺⁶ (mg/kg)	Al(mg/kg)	Fe(mg/kg)	Mn(mg/kg)	측정지점
수은탄광	4.07~7.83 (5.95)	0.098~0.465 (0.282)	3.557~7.653 (5.605)	0.500~0.750 (0.625)	17,817~31,511 (24,664)	28,096~86,220 (57,158)	501~608 (554)	1, 2
대보탄광	6.95~7.30 (7.13)	0.095~0.095 (0.095)	3.078~4.257 (3.668)	0.250~0.333 (0.292)	9,892~17,194 (13,543)	30,226~31,886 (31,056)	270~456 (363)	3, 4
삼원탄광	4.50~6.94 (5.72)	0.063~0.063 (0.063)	1,265~4,408 (2,837)	0.416~0.416 (0.416)	9,710~24,861 (17,286)	27,163~29,940 (28,552)	376~418 (397)	5, 6
중원탄광	6.72~6.72 (6.72)	0.022~0.086 (0.054)	0.565~3.147 (1.856)	0.250~0.250 (0.250)	9,276~10,052 (9,664)	18,523~24,066 (21,295)	221~291 (256)	7, 8
우성탄광	6.35~9.02 (7.69)	0.037~0.082 (0.060)	2,333~2,528 (2.431)	0.250~0.333 (0.292)	13,291~14,821 (14,056)	28,177~29,390 (28,783)	454~568 (511)	9, 10
왕도탄광	3.95~3.98 (3.97)	0.037~0.141 (0.089)	7,089~8,674 (7.882)	0.417~0.833 (0.625)	9,733~15,229 (12,481)	28,326~29,348 (28,837)	401~779 (590)	11, 12
모세탄광	3.34~3.84 (3.59)	0.026~0.404 (0.215)	3,663~17,895 (10,779)	0.250~0.417 (0.334)	10,256~10,260 (10,258)	31,544~52,468 (42,006)	125~146 (135)	13, 14
대령탄광	5.31~5.77 (5.54)	0.047~0.552 (0.300)	0.900~5.863 (3.382)	0.167~0.417 (0.292)	2,748~23,213 (12,980)	5,004~56,254 (30,629)	14~804 (409)	18, 19
동국,계림탄광	6.06~6.65 (6.42)	0.051~0.101 (0.079)	1,110~1,909 (1,588)	N.D~0.083 (0.055)	13,244~25,603 (18,224)	17,618~24,222 (20,693)	274~289 (284)	15, 16, 17
대조군	6.37~7.25 (7.03)	0.080~0.111 (0.096)	0.971~2,077 (1,452)	0.083~0.250 (0.139)	7,964~11,695 (9,830)	13,313~17,865 (16,010)	122~306 (187)	20,21,22, 23,24,25

주) 1. ()는 측정평균치
2. 장재광산은 폐갱구만 방치되어 있고 유출수 발생이 없어 조사를 생략하였음

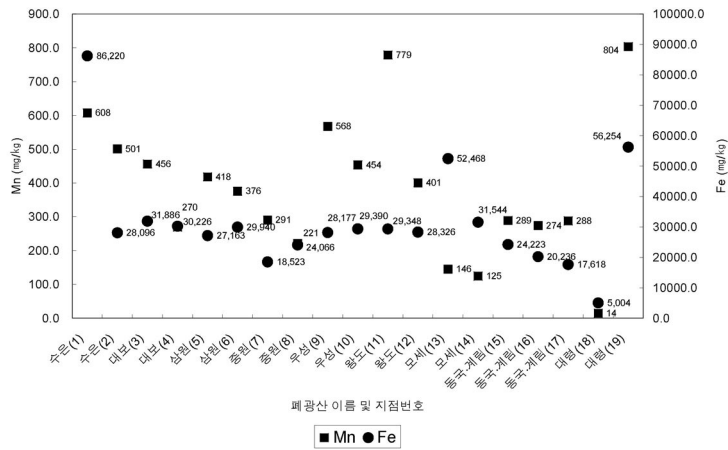


그림 11. 폐광산별 하상퇴적물 측정결과

As, Hg, Al, Fe, Mn으로 나타났다.

폐광산 유출수가 직접 영향을 미치는 도마천, 왕산천의 지천 퇴적물의 오염도와 오대호 담수퇴적물 오염분류를 위한 환경보호초기기준 (USEPA, 1993) 과 비교한 결과 그림 11과 같이 Fe은 동국·계림탄광, 중원탄광이 중간오염상태인 17,000~25,000 mg/kg을 나타내고 나머지 수운탄광, 대보탄광, 삼월탄광, 우성탄광, 왕도탄광, 모세탄광, 대령탄광은 심한오염상태인 25,000mg/kg을 초과하였다.

Mn의 경우에는 대보탄광, 삼월탄광, 대령탄광이 중간오염상태인 300~500mg/kg을 나타내고 수운탄광, 우성탄광, 왕도탄광은 심한오염상태인 500mg/kg을 초과하였으며, 나머지 중원탄광, 모세탄광, 동국·계림탄광은 비오염상태를 나타내었다.

나머지 Cd, Cu, Pb, Cr⁺⁶, As, Hg, Al은 비오염상태를 나타내었다.

(2) 오봉댐 유입하천 퇴적물 오염현황

오봉댐으로 유입되는 도마천 및 왕산천의 퇴적물 오염항목중 폐광산 지천의 오염도가 높은 Mn, Fe의 농도변화를 살펴보면 그림 12와 같다.

유역내 총 10개의 폐광산이 존재하는 도마천의 경우 댐쪽으로 유하 할수록 하천퇴적물의 오염이 증가하여 댐 유입전 오대호 담수퇴적물 오염분류를 위한 환경보호초기기준의 중간오염 상태를 보이고 있으며, 왕산천의 경우 장재광산 1개소만 존재하고 있어

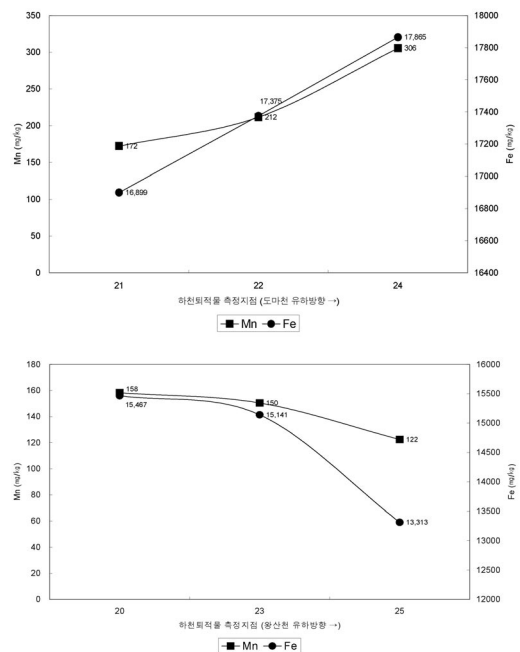


그림 12. 도마천, 왕산천의 유하거리별 하상퇴적물 오염도 변화

댐쪽으로 유하할수록 오염도가 낮아지며 오대호 담수퇴적물 오염분류를 위한 환경보호초기기준의 비오염 상태를 보이고 있다.

이는 도마천 수계에 집중되어 있는 폐광산의 폐석장 및 유출수에 의한 퇴적물 유하에 따른 원인에 기인된 것으로 판단된다.

3. 오염방지 대책 필요 폐광산 선정

1) 오염방지대책 적용기준

유역내 존재하는 폐탄광에 의한 오염방지대책이 필요한 지역선정 기준은 표 12와 같이 산성광산배수(AMD)가 발생하는 곳, 사면 불안정, 강우, 산사태 등에 의해 폐석이 누출되는 곳, 방치된 갱도에 의해 갱구 유출수가 수질환경보전법상의 폐수배출허용기준을 초과하는 곳을 대상으로 하고, 각 적용기준은 석탄산업합리화사업단의 폐광처리기준과 수질환경보전법상의 폐수배출기준, 미국 EPA의 수질환경기준을 감안하였다.

2) 산성광산배수(AMD) 처리필요 폐탄광 선정

오염방지대책 필요 폐탄광 기준에 의해 산성광산배수(AMD)처리가 필요한 폐탄광을 선정한 결과 표 13과 같이 수은탄광과 모세탄광으로 분석되었다.

그러나 왕도탄광의 경우 Al 농도가 비교적 높으

며 연한 침전물이 하상에 발견됨에 따라 추후 세부적인 정밀 조사후 오염방지대책 적용의 결정이 필요할 것으로 판단된다.

3) 광미 및 광폐석 처리필요 폐탄광 선정

본 유역내 탄광중 오봉담 건설시 수몰된 부경탄광과 정확한 위치파악이 어려운 동국·계림탄광과 금속광산인 장재광산을 제외한 8개소의 폐탄광을 대상으로 폐석장의 현장조사를 시행한 결과 표 14와 같이 과거 산림복원(사방공사)이 이루어진 탄광중 삼원탄광, 중원탄광을 제외한 나머지 탄광은 상태가 양호한 것으로 확인되었으며, 별도의 폐석장 복구가 시행되지 않은 왕도탄광은 폐석장이 방치되어 있어 광미 및 광폐석의 오염방지대책이 필요할 것으로 판단된다.

4) 갱구 유출수 처리필요 폐광산 선정

오봉담 유역내 폐탄광의 현장 조사시 처리되지

표 12. 오염방지 대책 필요 폐탄광기준

구분	산성광산배수	폐 석	기 타
적용 기준	<ul style="list-style-type: none"> pH 5.0 이하¹⁾ Fe 2mg/l 이상²⁾ Al 1mg/l 이상³⁾ 유출량 50m³/day 이상¹⁾ 하상에 200m 이상의 적색 및 백색 침전물 분포¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> 폐석장 사면 및 측대/옹벽의 양호성 토양피복 상태 조립 상태 	<ul style="list-style-type: none"> 갱구 유출수 유·무 유출수 오염정도(수질환경보전법)

주) 1) 석탄산업합리화사업단 “산성광산배수에 대한 처리기준”

2) 수질환경보전법 시행규칙 제8조에 의한 폐수 배출허용기준인 “청정지역(상수원보호구역)” 기준

3) 미국 EPA 수질환경기준

표 13. 산성광산배수(AMD)오염방지대상 광산

구 분	pH	Fe(mg/l)	Al(mg/l)	유출수(m ³ /일)	침전물(m)	적 용
수은광산	4.72	8.19	5.05	1,390	300(강)	●
대보광산	7.53	N.D	N.D	-	-	
삼원광산	4.43	0.10	6.41	1,180	50(중)	
중원광산	5.96	N.D	N.D	-	-	
우성광산	7.40	0.06	0.07	-	150(약)	
왕도광산	4.10	0.07	1.42	-	250(약)	
모세광산	4.21	10.89	3.21	380(상류건천)	350(강)	●
대령광산	5.40	0.12	0.25	-	-	
적용기준	5.0 이하	2.0 이상	1.0 이상	50 이상	200 이상	

주) 침전물의 퇴적깊이에 따라 (강), (중), (약)으로 구분하였음.

표 14. 폐석 오염방지 대상 탄광

구 분	사 면	축대/옹벽	토양피복	조 립	비 고	적 용
수은탄광	안 정	양 호	양 호	충 분	•산림복구	
대보탄광	보 통	보 통	보 통	보 통	•산림복구	
삼원탄광	불안정	부분붕괴	양 호	보 통	•산림복구	●
중원탄광	불안정	부 실	보 통	불충분	•산림복구	●
우성탄광	보 통	양 호	보 통	보 통	•산림복구	
왕도탄광	불안정	부 실	불 량	불충분		●
모세탄광	안 정	양 호	양 호	충 분	•산림복구	
대령탄광 ¹⁾	안 정	양 호	양 호	보 통	•수해복구	
적용기준	불안정	부 실	불 량	불충분		

주) 1) 대령탄광의 폐석장은 수해복구공사시 자동복구됨

표 15. 갠구 유출수 처리가 필요한 폐광산

구 분	갠 구	유 출수	적 용
삼원광산	유(3개소)	발생(1개소)	●
장재광산	유(1개소)	무	

않고 방치되어 있는 갠구가 있는 광산은 표 15와 같이 장재광산 및 삼원탄광으로 조사되었다.

장재광산의 경우 유출수의 발생이 없으며 중금속의 함유율이 낮아 별도의 오염방지대책의 수립이 필요치 않을 것으로 판단된다.

삼원탄광의 경우 3개소의 폐갱구중 1개소에서 유출수가 발생하나 수질 조사 결과 Al, Mn, Ca²⁺, SO₄²⁻ 등의 농도가 다소 높으나 지류와의 합류 후에는 그 영향정도가 낮아 추후 정밀조사를 통해 오염방지대책 여부를 수립하여야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 오봉댐 유역에 분포하고 있는 폐광산의 관리 현황과 수질, 지하수, 토양, 하천퇴적물 오염도를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 오봉댐 유역내 총 12개소의 폐광산중 오봉댐 건설시 수몰된 부경탄광을 제외한 나머지 11개 광산 현황을 조사한 결과 강릉시, 석탄산업합리화사업단 등에 의해 대부분 복구사업이 완료되었으나 2002년 태풍 “루사”, 2003년 태풍 “매미”에 의해 삼원탄광, 중원탄광, 왕도탄광의 폐석장 부분붕괴가 발생

하고, 수은탄광, 삼원탄광, 모세탄광은 갠구 및 폐석장에서 유출수가 발생하여 도마천 지류를 오염시키고 있다.

2. 폐석장 및 갠내수 유출수와 왕산천, 도마천 수질 조사결과 pH 4.1~5.4 범위를 보인 수은탄광, 삼원탄광, 왕도탄광, 모세탄광, 대령탄광과 Fe 8.19~10.89mg/l를 보인 수은탄광, 모세탄광 그리고 Al 1.42~6.41mg/l범위를 보인 수은탄광, 삼원탄광, 왕도탄광, 모세탄광이 수질배출허용기준치를 초과하였으나, 도마천 유입후 하천수질기준과 먹는물수질기준을 만족하였다.

3. 지하수 조사결과와 먹는물 수질기준을 비교하면 pH가 왕도탄광, 장재광산에서 Zn이 대령탄광에서 기준치를 초과하였다.

4. 토양오염도 조사결과 토양환경보전법상의 토양오염우려 및 대책기준중 “가” 지역 우려기준을 모두 만족하였다.

5. 폐광산 하류 지천의 하상퇴적물 조사결과를 오대호 담수퇴적물 오염분류를 위한 환경보호청기준과 비교시 Fe은 동국탄광, 계림탄광, 중원탄광이 중간오염상태로, 수은탄광, 대보탄광, 삼원탄광, 우성탄광, 왕도탄광, 모세탄광, 대령탄광이 심한오염상태를 보였으며, Mn은 대보탄광, 삼원탄광, 대령탄광이 중간오염상태, 수은탄광, 우성탄광, 왕도탄광이 심한오염상태를 보였다.

폐광산 하류 지천이 합류하는 왕산천과 도마천의 하상퇴적물 오염상태는 왕산천은 비오염상태, 도마

천은 중간오염 상태를 보여 도마천 유역의 폐광산의 폐석장과 유출수의 영향을 받고 있는 것으로 조사되었다.

6. 폐광산 관리현황 및 오염도 조사 결과를 바탕으로 방지시설이 필요한 광산을 선정한 결과 산성배수 처리가 필요한 곳은 모세탄광, 수은탄광이며, 광미 및 광폐석 처리를 위한 사방공사가 필요한 광산은 왕도탄광, 중원탄광, 삼원탄광이고, 폐갱구 유출수에 의한 처리대책이 필요한 광산은 삼원탄광으로 나타났다. 삼원탄광 폐갱구 유출수 처리의 경우 Al, Mn, Ca²⁺, SO₄²⁻ 등의 농도는 다소 높으나 지류와 합류후 그 영향정도가 낮아 추후 정밀 조사를 통해 오염방지 대책을 수립하여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 환경부의 환경기술인력양성 지원사업과 한국수자원공사의 오봉댐 재개발 타당성조사용역으로 지원되었습니다.

참고문헌

강릉시, 1997, 12, 강릉시상수도확장사업실시설계.
 건설교통부·한국수자원공사, 2001, 5, 댐 개발계획 수립조사(건설교통부 한국수자원공사).
 기획예산처, KDI, 2002, 8, 오봉댐 재개발사업 예비 타당성조사.
 대한광업진흥공사, 1990, 한국의 석탄광.
 대한광업진흥공사, 1997, 한국의 광상 제10호 금, 은편.
 대한광업진흥공사, 1976, 한국의 광상 제7호 석탄편.
 박용하, 1994, 12, 휴폐광된 금속광산 지역의 오염 관리대책, 한국환경정책·평가연구원.
 박용하, 윤서성, 송재우, 장지수, 이양희, 2003, 12, 토양오염 지역의 관리 및 복원방안 II, 한국환경정책·평가연구원.
 심연식, 2002, 폐탄광 갱내수 정화사업 추진현황과 대책, 2002 광해방지 정책 및 기술심포지

움, p. 99~108.
 이춘택, 유시영, 1983, 석탄광의 산성폐수와 중금속 유해성에 관한 기초적 조사연구, 대한광산학회지, 20, 222-232.
 임길재, 2002, 폐탄광 광산배수 자연정화시설 정화 효율성 평가 사례 연구, 한국자원공학회지, 39, 112-118.
 전효택, 황지호, 1998, 폐석탄광 주변 지구화학적 환경의 중금속 오염 평가, 한국자원공학회지, 35, 491-500.
 석탄산업합리화사업단, 1995, 12, 석탄광 폐광지원 내역서.
 석탄산업합리화사업단, 1995, 12, 폐광에 따른 광산 지역 환경개선 연구(폐수, 폐석).
 허 봉, 유재영, 1998, 강원도 강릉시 강동면에 분포하는 폐탄광으로부터의 배수에 의한 임곡천 및 동해의 오염.
 Journal of the Korean Society of Groundwater Environment, 5(1), 44-55.
 Barnes, H. L. and Romberger, S. B., 1968, Chemical Aspects of Acid Mine Drainage, WPCF, P.371-384.
 Hedin, R. S., *et al.*, 1994, Passive Treatment of Coal Mine Drainage, USBM, IC-9389.
 Sengupta, M., 1993, Environmental Impacts of Mining (Monitoring, Restoration and Control), Lewis publisher.
 USEPA, 1993, Selecting Remediation Techniques for Contaminated Sediment, EPA 823-B93-001.
 USEPA, 1996, 3050B: US EPA SW-846, Test methods for evaluating solid wastes physical/chemical methods.
 APHA, 1998, Standard methods for the examination of water and wastewater 20th.