

## 구봉광산 재개발이 지역환경에 미치는 영향 : 청양군 남양면

정 중 관

충남연구원 공간환경연구실 선임연구위원  
asset@cni.re.kr

본 연구는 구봉광산 재개발 사업이 청양군 남양면 지역의 토양, 지하수, 하천수, 농작물, 생태계에 미치는 영향을 판단하기 위해 폐광이후 지역 환경현황을 조사하고, 재개발 여건, 광해발생 및 방지 대책의 타당성 분석과 향후 광산 재개발 사업 대응방향 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 함.

### CONTENTS

1. 조사연구의 개요
2. 광산 재개발 사업계획
3. 광산 재개발 지역여건 분석
4. 광해 발생 및 방지 대책
5. 결론 및 정책제언

### 요약

- 광산 재개발 사업은 주변지역의 지질, 토양, 하천수, 지하수, 자연생태계, 농경지 이용 등에 미치는 환경상의 영향을 예측하여 채광·선풍·정련 공정 물질수지를 고려한 구체적인 오염저감 시설의 규모, 입지, 운영방법 등이 제시되어야 함.
- 광산 재개발 사업면적이 10,000m<sup>2</sup> 이하로 소규모 환경영향평가 대상이 아니더라도 정량적 예측을 통해 환경영향최소화가 선행되어야 함.
- 광산 재개발 관련 채광·선풍·정련 공정은 복합 환경오염 우려에 대해 공학적 설계요소를 적용하여 만족시킨다 하더라도 자원 채굴공정에서 파생되는 환경오염 유발 외부효과에 대한 사회경제적 요소로 지역주민과의 관계, 환경피해 배분상, 광해방지 복구 비용부담 여부 등이 중요한 변수임.
- 광산 재개발 과정에서의 환경영향을 예측하고 평가하기 위해서는 예비타당성조사가 필요하며, 현재 대상지역은 장기간 휴·폐광 상태에서 광해방지사업 시행으로 안정화되고 있으나, 재개발 시 인위적 오염이 가속화될 것이므로 이에 대한 사전 조사와 오염방지 대책이 선행되어야 함.
- 지역경제 활성화를 위해 부존자원을 개발할 경우 사업계획은 광해 방지 및 환경보전 계획과 병행 추진하여 개발에 따른 외부불경제 효과와 기회비용을 줄일 수 있어야 함.



## 1. 배경 및 목적

### ● 과거 구봉광산 재개발과 관련하여 지역주민 반발 등 사회적 문제 대두

- 구봉광산은 1911년부터 개발이 시작되어 1971년 휴광, 1994년 폐광되기까지 금 13,332kg, 은 3,410kg을 채굴하였고 평균 금속함량은 7g/t임.
- 금을 정제하는 과정에 사용하는 각종 약품으로 중금속 오염이 심각해 주민들의 피해가 컸던 것으로 전해지면서 광해로 인한 환경오염 해소를 위해 한국광해관리공단이 지난 2009년 구봉광산 토양오염 정밀조사를 거쳐 2012년 12월부터 2년 가까이 복원사업을 추진한 바 있음.
- 폐광이후 광해방지 사업이 진행되어 안정화가 진행되고 있으나, 주변 구룡천과 소하천 등에는 하천은 갭내수가 흘러나오는 등 지속적인 환경관리 개선 및 안정화조치가 필요함.

### ● 구봉광산 재개발 시 환경영향 및 주민피해 여부 판단과 대책 수립 필요

- 폐광이후 광해방지 사업으로 지반과 토양 안정화가 진행되어 농경지 및 잡종지로 토지가 이용되고 있으나, 재개발 시 금속광해 발생으로 분진발생, 수질오염, 토양오염, 농작물 생육 여건 변화로 영향권역 주민건강 등 환경변화에 다른 대응조치가 필요함.

- 광산 재개발 사업계획의 타당성 검증 필요

- 광산 재개발 사업에 따른 대응방향 수립 기초자료로 활용하고자 함.

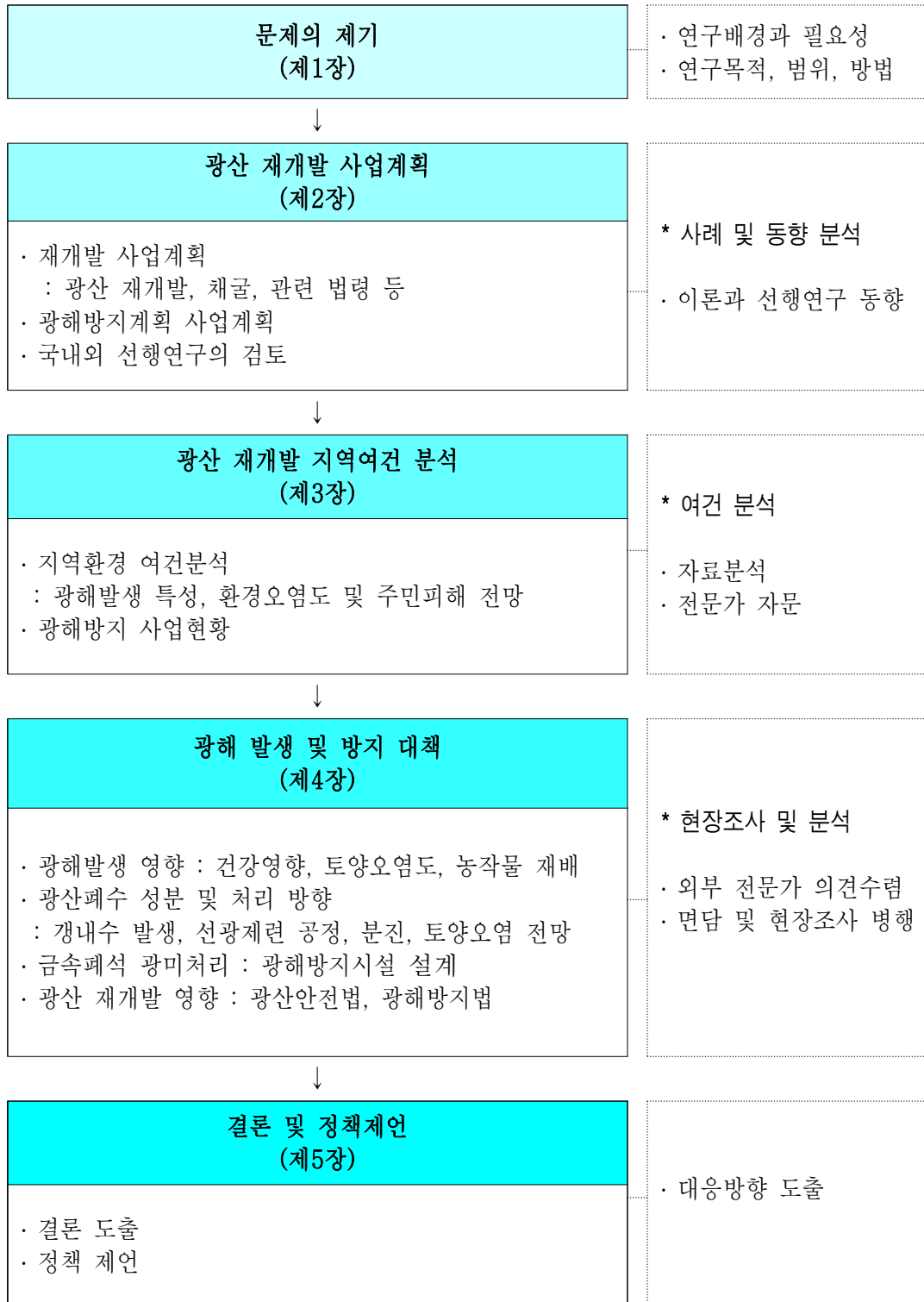
## 2. 연구조사 내용 및 방법

- 광해로 인한 주변 환경 및 인체에 미치는 영향

- 연구조사 내용은 폐광이후 환경오염도 판단, 광산 재개발 사업계획 내용 검토, 지역여건 분석, 광해발생 및 방지사업의 타당성, 환경개선 및 안정화 정책방향 등으로 구성함.
- 광산안전법[법률 제15175호, 시행 2018. 6. 13.]에서 광해란 광산에서의 토지의 굴착, 광물의 채굴, 선�광(選鑛) 및 제련 과정에서 생기는 지반침하, 폐석(廢石)·광물찌꺼기의 유실, 갱내수(坑內水)·폐수의 방류 및 유출, 광연(鑛煙)의 배출, 먼지의 날림, 소음·진동의 발생으로 광산 및 그 주변 환경에 미치는 피해로 정의하고 있음.

- 광산 재개발 및 광해방지 적정처리 방법

- 연구조사 방법은 사업계획서 분석, 현장방문과 조사, 광해방지 사례분석, 정책대안 도출 등으로 진행하였음.



[그림 1] 연구수행 흐름 및 체계도

## 1. 광산 재개발 계획

### ● 단계적 채굴 공정 적용

- 월평균 원광 3천톤을 채굴하여 시험하고 단계적으로 5천톤으로 증산.

### ● 채굴 방법

- 석영맥의 특성을 고려하여 상향식 축소채굴법(shrinkage excavation) 채택.
- 사면경도(ramp way)의 경사도는 6~10 ° 로 단면은 5m×5m, 무한궤도견인착암기(crawler drill)로 진동제어 발파하여 채굴.
- 1회 발파 시 원광 135톤을 채굴하고, 15톤 용량의 채굴전용트럭(mine truck)으로 운반하여 13톤을 수선 정광함. 이 때 석영맥의 채굴량은 월 2600톤, 연간 31200톤을 생산하고, 운반 후 외부 선광장에서 수선광으로 처리함.
- 선광 후 생산량은 4163톤으로 순성분의 양은 금 1041kg, 은 5613kg으로 예상함.
- 선광 후 광물의 품위는 금 6.55 → 250g/t, 은 35.7 → 1150g/t으로 예상함.

### ● 생산 공정은 채굴, 원광 파쇄, 분급선별, 정광 단계로 산단에서 부유선광으로 생산

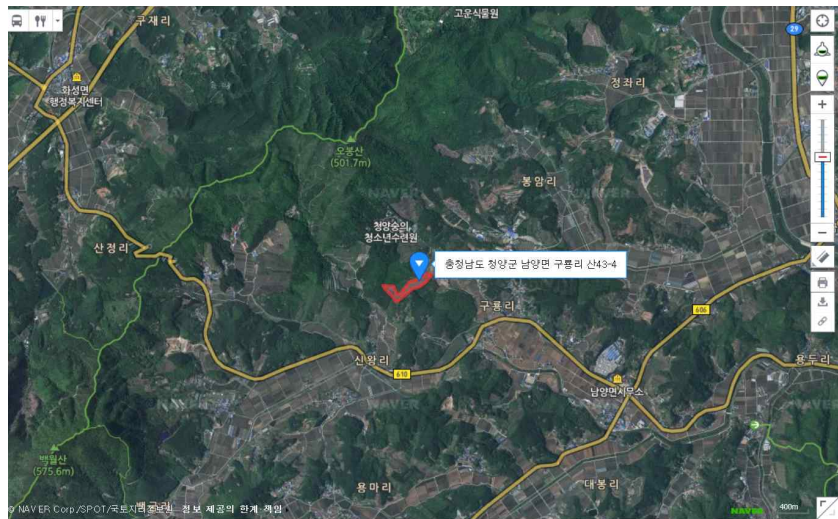
- 광물 경석은 구 채굴 갱도 공동에 충전시키고, 광재는 구 채굴 갱도에 뒷채움재로 사용함.
- 발생하는 갱내수는 중화, 침전, 여과 후 방류함.
- 선광폐수는 3차 처리하여 100% 재사용.

## ● 광산채굴 지질 상황

- 사업예정 지구의 지질구성 성분은 석영, 장석, 운모를 구성요소로 하는 운모편암, 화강편마암으로 변성퇴적암으로 구성되어 있음.
- 화학적으로 황화물을 주성분으로 하는 방연광, 섬아연광, 황동광으로 구성됨.
- 주요 채굴 목적 성분의 함량은 금 ND~75.5g/t(평균 7g/t), 은 미량~229g/t(평균 5g/t)으로 잠재량은 금 17.3톤, 은 2.5톤으로 전체 19.3~19.8톤으로 추정함.

## ● 광산개발행위 대상지

- 청양군 남양면 구룡리 산43-4 등 임야 33,694㎡, 갱구용지 4,630㎡, 경석장 진입도로, 주차장 등 합계 58,274㎡로 대상 면적은 4,730㎡로 사용동의에 따라 변동될 수 있으며 허가 등 신청면적은 10,000㎡이하임.



〔그림 2〕 광산 재개발 사업대상지

## 2. 광해방지 사업계획

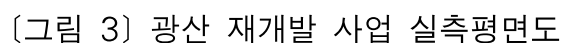
### ● 광산 재개발 관련 폐석 저류시설

- 본 사업예정지구의 지질은 변성퇴적암 광상으로 광미 저광장과 폐경석 적치장이

- 광미 저광장은 구룡리 해발 151m 부지로 설정하고 경사구배는 1:1.5 (경사도 34° 41') 로 설정함.
- 폐경석은 구 채굴갱도에 적치하고, 갱외로 반출 시 별도 적치장을 두는 것으로 계획함.

— 채굴 시 발생하는 갱내수 배수를 위해 직경 6인치 배관으로 심도 60cm의 집수조를 설치하고, 갱내 집적수의 산성광산배수(AMD/ARD)는 석회로 중화하여 방류하는 것으로 설정함.

－ 광산재개발 관련 지형, 경관, 사면은 폐광산 재활용계획을 적용하는 것으로 설정하였음.





## 1. 지역 환경 여건

### ● 폐광 주변 환경현황

- 폐광 이후 채굴지역은 지반침하, 갱도 방치, 저류시설의 부식, 갱내수 유출 등의 부작용이 진행 중임.
- 구봉광산 폐광이후 청양 폐광산 인근 농경지에서 경작된 쌀에서 중금속 비소가 다량 검출(국민일보 / KBS, 1998. 9. 16)보도가 있었음.
- 구봉광산 주변지역은 2008년 환경부 지하수 수질 조사결과 중금속 항목 중 As, Cd 기준초과 및 pH 4.0~5.0 산성으로 나타났음. 2009년 토양오염 정밀조사 후 복구사업이 진행되어 현재는 대체로 토양오염 우려기준 이내를 유지하나, 지속적인 유실방지 사업 및 안정화 조치가 필요함.
- 구봉광산 주변지역에 대한 2018년 충청남도 보건환경연구원 토양오염도 중금속 항목 조사결과 사업지구 인근 구룡 3리 토양오염도는 토양오염 우려기준 이내이기는 하나 비교지역인 온직리보다 대체로 높게 나타나고 있음. 따라서 이 지역에 대한 지속적인 토양환경 모니터링과 함께 안정화조치가 계속 유지되어야 함을 알 수 있음.

〈표 1〉 구봉광산 주변 토양오염도 현황

구 분	시료채취지점	토양오염우려기준 (단위: mg/kg)							
		카드뮴	구리	비소	수은	납	크롬	아연	니켈
		4	150	25	4	200	-	300	100

대 상 지 역	남양면 구룡3리 502-4	불검출	24.1	3.33	0.02	7.4	72.7	77.0	29.4
	남양면 구룡3리 473	0.20	27.8	3.17	불검출	12.4	147.5	76.7	58.0
	남양면 구룡3리 317-5	0.63	24.1	불검출	불검출	23.9	63.5	85.1	33.8
	남양면 구룡3리 314-2	0.30	17.5	불검출	0.17	9.4	72.2	47.0	24.7
	남양면 구룡3리 361-5	0.33	29.3	5.97	0.04	4.9	117.2	74.1	48.7
비 교 지 역	남양면 온직리 284-3	불검출	20.8	5.10	0.02	13.9	26.4	32.7	16.4
	남양면 온직리 210	불검출	7.3	5.40	0.03	19.7	32.8	58.9	15.0
	남양면 온직리 146-1	불검출	14.0	불검출	0.06	23.0	17.6	30.0	8.3
	남양면 온직리 736	불검출	5.7	11.40	0.05	12.5	19.6	42.4	8.8
	남양면 온직리 667	불검출	8.2	1.93	0.02	17.9	44.2	60.4	21.3

자료: 충청남도 보건환경연구원, 토양오염도 측정조사, 2018

## ● 광해발생 현황

- 예정지 주변지역의 광해 발생여부 판단을 위한 실태조사는 2015년에 이루어졌음. 대표적인 광해 요인으로 토양오염, 수질오염, 지반침하, 산림훼손, 경관하락 등을 들 수 있음.
- 토양오염 관련 2007년 환경부에서 2등급 통보 이후, 2008년과 2016년 농림축산식품부에서 경작 부적합 필지를 통보함.
- 광물찌꺼기에 의한 광해방지를 위해 청양군에서 광미유실 방지사업을 실시하였고, 현재는 광미 적치장을 시설관리 중에 있음.
- 광미 적치장에서 침출수가 지속적으로 나오고 있어 현재 수질 모니터링 중에 있으며, 구룡천으로 유입되는 소하천 바닥은 황갈색 침전물(yellow boy)이 존재함.
- 지반침하 관련 예정부지 정상부에 함몰 현상이 육안 관찰되는 침하지가 존재하고, 사면개도와 연결되는 갱구가 개방된 곳이 존재함.
- 폐석장은 소단으로 정리하여 폐석유실 우려는 낮지만, 진입 임도주변의 경사면 강우유실 현상

과 방치된 선광시설 및 용벽시설이 갯구 주변 콘크리트 구조물과 폐시설물 존재로 산림훼손 및 경관을 해치고 있음.

## ● 광미 처리장 관리 현황

- 1971년 휴광, 1994년 폐광 이후 광미처리장에 대한 안정화와 유실방지를 위한 광해방지 안정화작업이 진행되었음.
- 기존 광미장은 면적 65,490m<sup>2</sup>, 광미 적치용량 158,878m<sup>3</sup>, 용벽 611m로 공사기간은 1998. 8~1999. 11까지임.
- 광산현장에서 불가피하게 발생하는 광미는 일반적으로 채광량의 95~99%를 차지함. 여기에는 비소, 구리, 납, 아연, 카드뮴 등 인체에 치명적인 중금속류가 환경기준치를 초과하는 경우가 많음. 오랜 시간이 지난 광미 적치장은 근본적인 불안정과 제체 비탈면 블록 부식, 파손 붕괴 등이 진행되면서 대규모 광물찌꺼기의 유실 위험을 안고 있음. 매립·차폐를 통한 광물찌꺼기 처리가 시설 파손, 노후화 등으로 지속적인 유지가 어렵고 유지관리 비용이 발생함.
- 구봉광산 광미 적치장은 1999년 평탄화 복토작업 및 안정화 용벽 공사 완료 후 자연상태로 안정화 상태가 진행 중이므로 별도의 토지이용계획 추진보다 지속적인 모니터링이 필요함.
- 광산 재개발에 따른 환경오염 유발 요인을 저감시키기 위한 광해복구사업으로 막대한 비용이 발생함.



〔그림 4〕 광물찌꺼기 적치장



〔그림 5〕 방치 폐갱도와 침하된 지반



〔그림 6〕 갯내수 유출과 부식된 선광장 옹벽

## 2. 광해 방지사업 현황

### ● 광해 방지사업 추진 현황

- 구룡리 일원 구봉광산 주변지역의 토양복원을 위해 2012. 12. 26 ~ 2014. 7. 4까지 사업이 진행되었음.

〈표 2〉 구봉광산 주변 광해 방지사업 추진 현황

구분 \ 내용	사업비(백만원)	사업면적(m <sup>2</sup> )	사업내용
2-1 공구	2,399	124,915	복토, 환토 안정화
2-2 공구	3,093	191,060	복토, 환토 안정화
2-3 공구	3,865	220,165	복토, 환토 안정화
합계	9,357	536,140	토양치환 안정화

자료: 충청남도, 광해방지사업 행정자료, 2019

- 광물찌꺼기 유실방지를 위한 사업은 2011년, 2018년 두 차례에 걸쳐 시설보수와 안정성평가 차원에서 49,450m<sup>2</sup>에 대해 130백만원이 집행되었음.
- 향후에도 광미 적치장 시설 관리 및 수질오염 모니터링이 요구되며, 경작 부적합지에서 생산된 농산물에 대해서는 매입 후 폐기, 휴경보상이 진행되어야 함.
- 폐갱도를 중심으로 지반침하 여부 및 지반안정성 기본조사가 지속적으로 추진되어야 함.

## 1. 광해 발생 영향

### ● 폐광 주변 건강영향조사 결과

- 환경부에서 환경오염에 취약한 폐금속광산지역 주민의 건강영향을 조사하여 예방·관리대책을 강구하기 위한 대책의 일환으로, 2008년에 전국 10개 폐금속광산 지역(1,063명)과 대조지역(751명) 주민 1,814명에 대하여 건강조사를 실시하고 그 결과를 발표하였음.
  - 건강에 지장을 초래할 우려가 있는 ‘우려기준’은 66개 지점(5.7%), 토양오염대책을 필요로 하는 ‘대책기준’은 38개 지점(3.3%)에서 기준을 초과함.
  - 당시 구봉광산 지역 대상자는 138명으로 평균연령 66.4세, 대조지역 대상자는 49명으로 평균연령 66.8세였음. 조사결과 혈중 납 농도가 전국 평균치보다 높게 나타났음.
  - 구봉광산 지역 일부 대상자가  $\beta_2$ -MG가  $300\mu\text{g/g cr}$ 을 초과하고, 혈액 요소질소 및 크레아틴 청소율이 비정상이었으나, NAG가 정상범위이므로 당뇨, 고혈압 등을 앓고 있어 질병력에 의한 신증의 가능성이 높았음.
  - 2차 건강진단 결과 광산지역 거주 일부 대상자에서  $\beta_2$ -MG가  $300\mu\text{g/g cr}$ 을 초과하였고, 혈액 요소질소 및 크레아틴 청소율이 비정상이었으나 NAG가 정상범위에 있었으며 당뇨, 고혈압 등을 앓고 있어 질병력에 의한 가능성이 높음.
- ※  $\beta_2$ -microglobulin( $\beta_2$ -MG) : 세뇨관 손상지표(참고치 :  $0.3\text{ mg/L}$ ), N-acetyl- $\beta$ -D-glucos-aminidase(NAG) : 신장장애 조기평가지표 (참고치:  $0.3\sim 11.5\mu\text{g/L}$ )

〈표 3〉 구봉광산 주변 건강영향조사 결과

	혈중 Pb	혈중 Hg	혈중 Cd	뇨중 Cd	뇨중 As
단위	$\mu\text{g/dL}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/dL}$	$\mu\text{g/g cr}$	$\mu\text{g/g cr}$
폐광지역	3.25	2.77	1.44	1.94	10.95
대조지역	2.92	1.57	1.38	1.71	9.82
2차 국민조사(2008)	1.72	3.80	1.02	-	-
1차 국민조사(2005)	2.66	4.34	1.52	-	-
WHO 권고기준	10	18	5	-	30
미국 CDC /독일 권고기준	10	15	-	5	35

자료: 환경부, 금속폐광산 주민건강조사, 2009

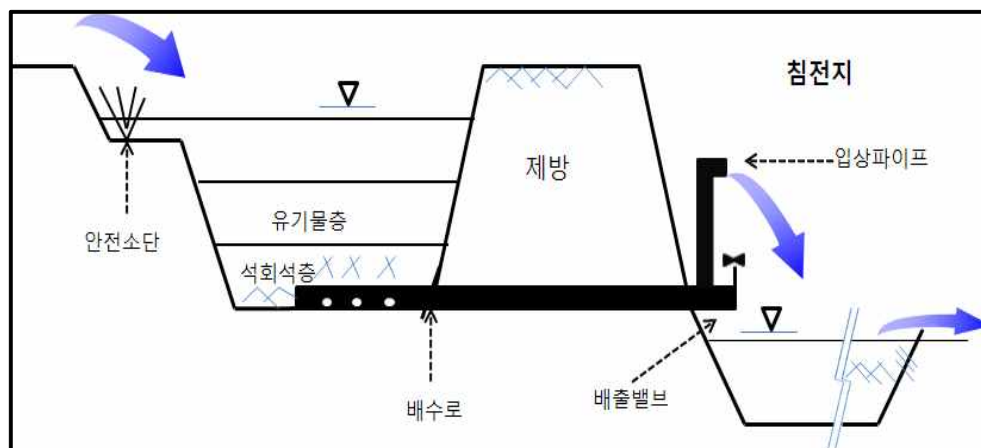
## 2. 금속 광산폐수 성분 및 처리방법

### ● 금속 광산폐수 주요 성분

- 광산폐수는 산발생능력(AGP)이 높고 사업지역의 갯내수가 지금도 발생하고 있으므로 광미와 경석 적치장에 대해 위해도(ARD HF) 평가가 필요하다고 판단.
  - $\text{ARD HF} = \text{MPA/ANC}$  클수록 산성암반수 발생 위해도 증가
  - $\text{MPA}(\text{Maximum Potential Acidity}) = \text{광미(폐석)의 황함량 } S(\%) \times 30.6$
  - $\text{ANC}(\text{Acid Neutral Capacity}) = \text{염산 부피} \times \text{염산 몰농도} \div \text{시료무게} \times 49.0$
- 광물찌꺼기와 폐석더미로부터 나오는 침출수는 광산지역 지표수와 지하수의 주요 오염원으로 채광 또는 채광 후 암석 중에 방연광, 섬아연광, 황동광 등과 같이 공기 및 수분과 반응이 잘 일어나는 광물이 함유되었을 때 환경피해 발생이 예상됨.
- 금광에서 배출되는 갯내수에는 Pb, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, As 등 중금속 성분을 함유함.

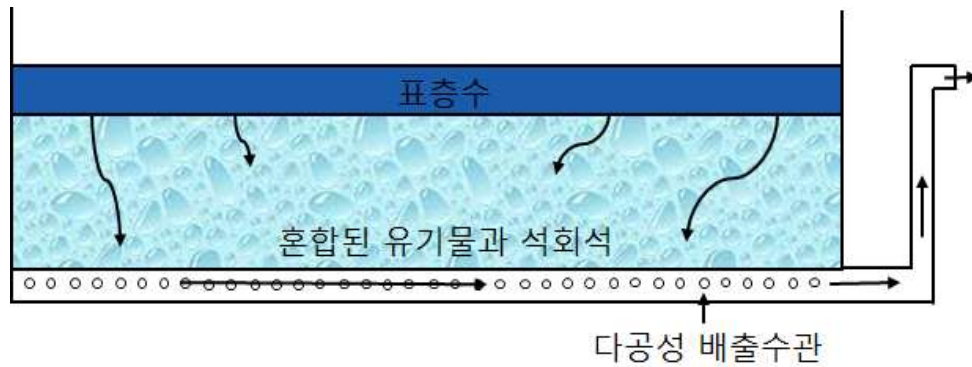
## ● 금속 광산폐수 처리공정

- 자연정화법의 석회석 수로, 우회집수조(Diversion well), 알칼리공급조(SAPS), 인공소택지 직렬/병렬 공정으로 방류수질 목표달성 여부 판단이 필요.
  - 산성 광산폐수의 처리효율은 알칼리공급조와 인공소택지의 용량, 체류시간, 충전매체의 입도 등에 의해 영향을 받게 됨.
  - 공학적으로 방류수 수질기준은 달성가능하다고 판단되나 수용하천인 구룡천은 유량이 적은 소하천으로 환경부하 변동에 완충능력이 부족할 것임.
- 연속알칼리공급조(SAPS ; Successive Alkalinity Producing System)는 혐기성 조건에서 황환원박테리아(SRB)가 유기물을 분해하여 알칼리도를 생성하면 용존 산소(DO) 소비, 황화수소 생성, 철이온( $Fe^{3+}$ ) 환원으로 금속황화물 침전 형성.
  - 광산폐수 내 금속성분의 물리화학 특성상 유동적 이동성이 커서 혐기성 조건에서 제거하기 어려우므로 성공적으로 운영되려면 SRB 배양, DO 제거, 환원조건을 유지해야 하는데 공학적 방법 적용이 필요함.
  - 황산염( $SO_4^{2-}$ ) → 황화수소( $H_2S$ ) → 금속황화물 침전( $MS\downarrow$ )
- 역알칼리공급조(RAPS ; Reverse Alkalinity Producing System)는 다공성 배출수관을 이용하여 산성 광산폐수와 석회석 수층간의 충분한 체류시간으로 침전 반응성을 높임.

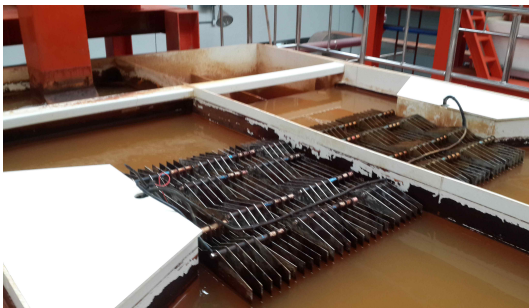


[그림 7] 연속 알칼리공급조(SAPS)시스템





[그림 8] 역 알칼리공급조(RAPS)시스템



[그림 9] 전기정화시설 및 알칼리공급조(RAPS) 자연정화시설

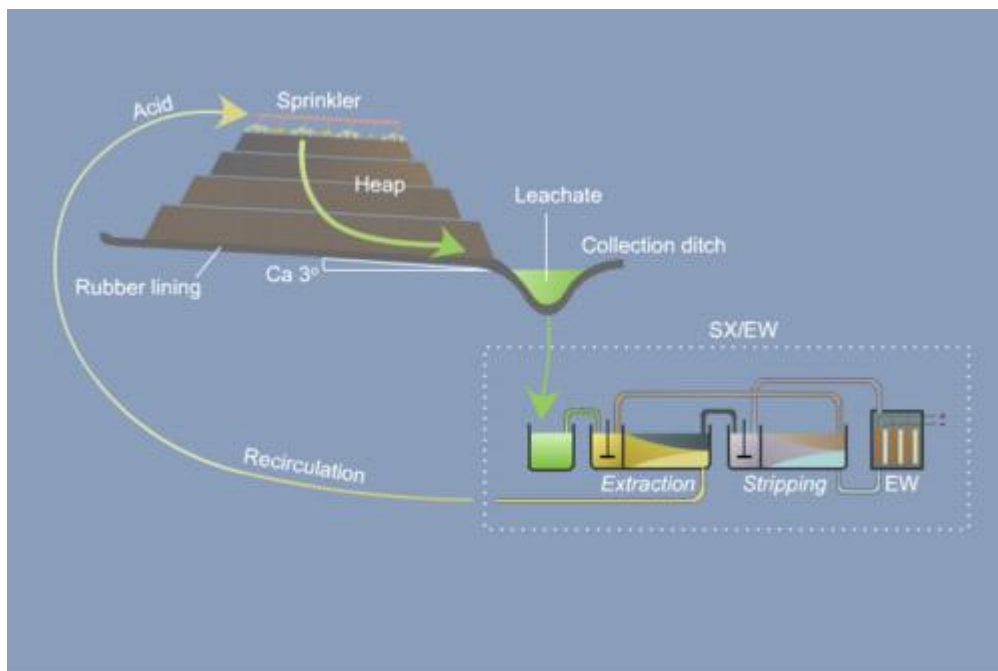
### 3. 금 선광제련 공정오염 발생 및 처리방법

#### ● 금 선광 및 제련 공정

- 금 선광 및 제련 공정은 청화법, 아말감법, 비중선별법, 부선법(부유선광법)이 있으며, 광석에 따라서 이들을 단독 또는 조합한 처리방법을 채택함. 금과 공존하는 광물의 종류, 입자의 크기 및 표면상태 등 모두 처리계통의 선택에 영향을 미치

므로 금광 처리과정 설계는 먼저 광석의 성질을 검토해서 청화법, 비중선별법, 아말감법의 병용을 고려한 가장 유리한 계통을 채용함.

- 화학주기율표 상 구리, 은, 금은 같은 Ia 족 원소이므로 금 추출 공정에서 구리 성분이 부수적으로 발생함. 청화법(靑化法, cyanide process)은 금과 시안화나트륨/시안화칼륨이 시안화착물을 형성하여 금 성분을 추출하므로 침출공정에서 시안성분이 발생함. 금광 더미침출(heap leaching)은 희박한 시안화용액을 쌓아놓은 금광석 더미에 살포하여 4-42일 정도 침출시키면 67-95%의 금과 은을 추출할 수 있음.

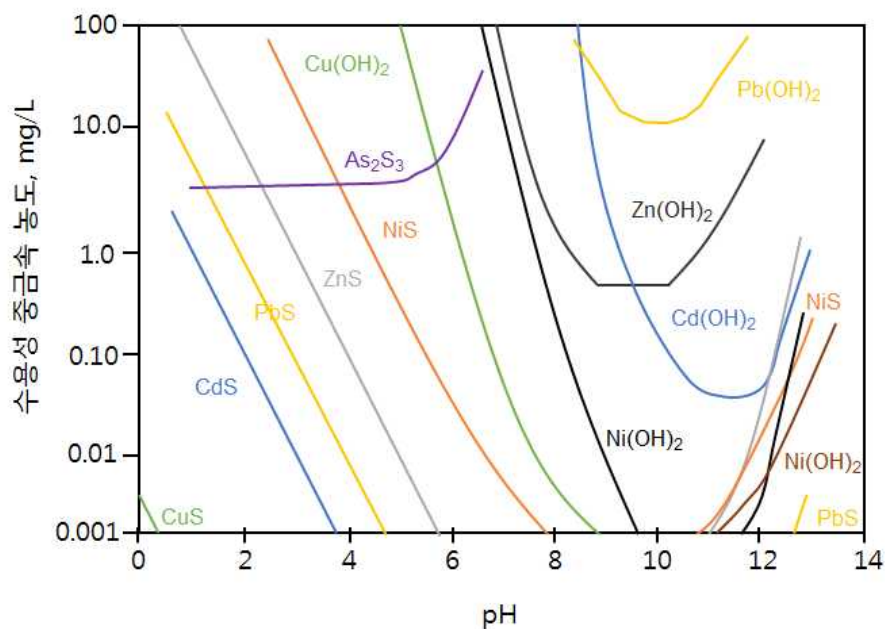


[그림 10] 금광 더미침출 공정 시스템

- 부선 정광 청화법 또는 아말감법은 미리 浮游選鑛法으로 精鑛 후에 금을 농축하여 그 정광을 아말감법 또는 청화법으로 처리하는 방법으로 품위가 낮을 때 유리하지만 수은 아말감 형성으로 수은성분이 유출될 수 있음.
- 금이 구리, 납, 아연 등의 비금속 황화광 또는 황철광에 함유되어 있을 때는 황화광물이 1종이고 더욱 금을 함유하고 있을 때 단일부선법으로 금 및 황화광물을

함께 회수할 수 있지만, 2종 이상의 황화광물을 함유하는 경우에는 우선 부선법에 의해서 황화광물을 분리하여 금을 황화광물 쪽에 농축시켜 회수함.

- 금속황화물은 산성에서 침전을 형성하므로 이 성질을 이용하여 침전제거법을 응용할 수 있는데, 각 금속황화물별 적정 pH 범위는 CuS 0~2, CdS 3~4, PbS 4~5, ZnS 5~6로 나타남. 따라서 금 채굴 갱구 유출수는 황화물에 의한 침전물 발생(yellow boy)현상이 나타남.



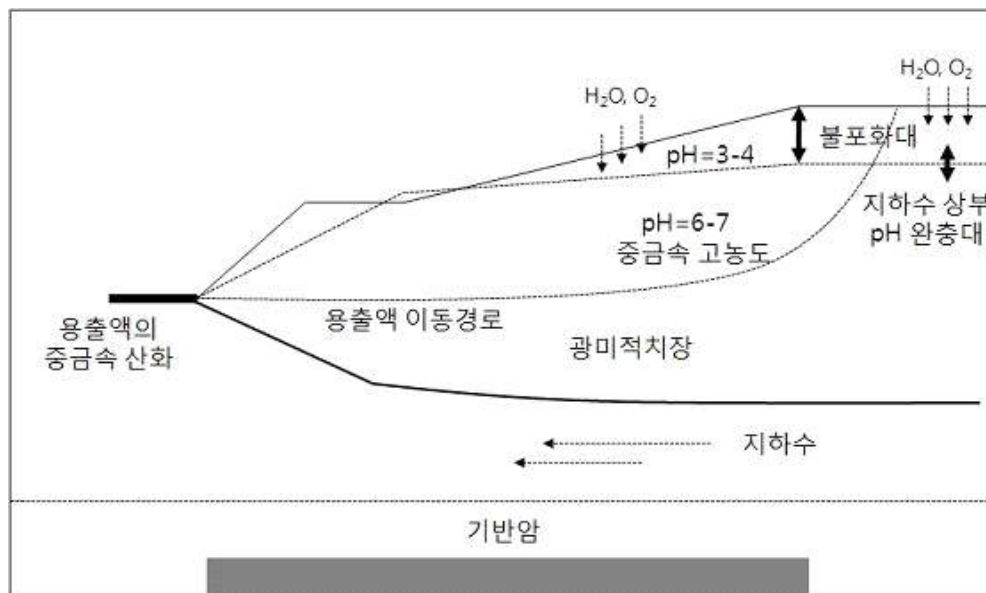
[그림 11] 액성별 중금속 침전 생성

## ● 금 선광 및 제련 폐수처리

- 금 선광 및 제련 공정에서 사용되는 물질이 공정별로 차이가 있지만 금광에서 부수적으로 발생하는 구리, 비소, 아연 외에 선광 및 제련 시 수은, 납, 시안 등임.
- 따라서 채굴 및 선광 제련공정에서 이러한 중금속 및 유해화학물질 제거를 위해서 물리화학생물학적 공정을 채택하여 제거하게 됨.

## ● 금 선광 제련 지하수 토양오염

- 금 선광 및 제련 공정에서 분쇄, 침출, 고액분리, 농축, 정제 공정에 사용되는 화학물질로 산과 알칼리(황산, 가성소다, 중탄산소다, 시안화나트륨/시안화칼륨, 황산철, 황산구리 등)를 과량으로 사용할 경우 중금속 축적, 시안 등 독성화학성분 검출이 예상됨.
- 과거 금, 은 광산개발 시 현지에서 제련공장을 개설하여 합금광물을 제련하여 회수하는 과정에서 미세하게 과쇄된 함금에 아말감법을 사용할 경우 수은을 첨가하여 함유된 금의 70-80%를 회수하고 나머지 함유 금은 시안을 첨가하여 100% 금을 회수하였음.
- 이 과정에서 잔류 수은이나 시안이 토양에 존재하였음. 비소는 모든 금속 광상에 지시 광물로 일부 검출됨. As, Hg, CN 성분은 원 지질토양 기원이 아니고 금, 은 제련과정에서 사용된 Hg, CN이 환경에 누출되어 광물찌꺼기에 잔류하는 경우로 판단.



[그림 12] 지하수 토양오염 모식도

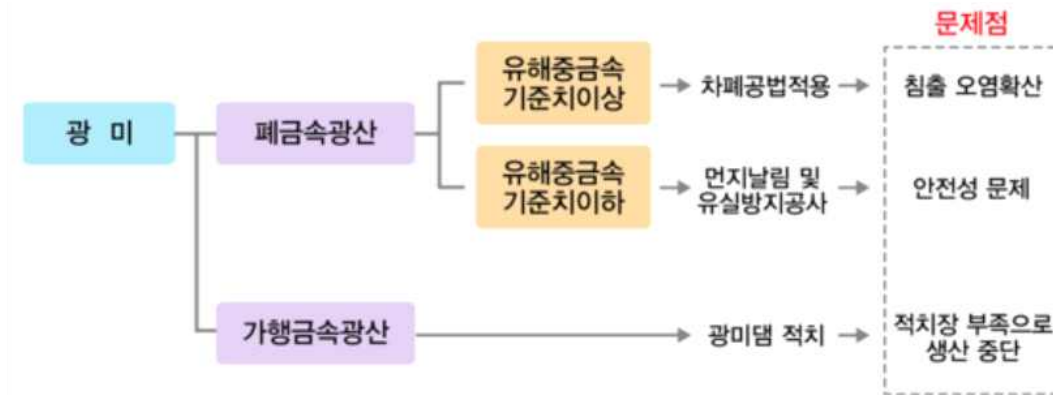
## 4. 금속 폐석 및 광미 처리방법

### ● 금속 폐석 처리 규정

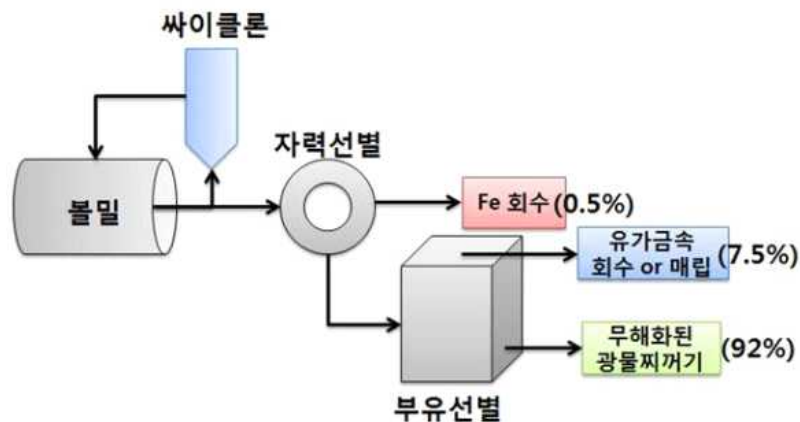
- 금속광산에서 발생하는 광업폐기물은 광미와 폐석을 들 수 있음.
- 광산안전법에서 광업폐기물 처리기준은 광산안전기술기준에서 규정하고 있는데, 광물찌꺼기 및 부유물질(침전지에서 회수한 침전물 등)은 별도의 적치장에 적치할 것. 유해한 광업폐기물은 갱내에 매립처리하지 아니할 것. 광업폐기물을 무해화 했거나 무해한 광업폐기물은 갱내충전 또는 타 지역에 매립할 수 있으며, 기타 용도로 재활용할 수 있다고 규정.

### ● 광물찌꺼기 적치장 복원사례

- 폐광산에 의한 환경오염은 안정된 상태로 지하에 매장되어 있던 금속, 비금속 등의 유용한 자원을 개발함에 따라 부가적으로 발생된 광물찌꺼기, 광폐석, 광산폐수 등을 무단으로 방치하거나 방류함으로 발생하는 광해와 지반침하, 소음 진동, 분진, 폐갱구 및 폐시설 방치 등 다양한 형태의 광해를 예상할 수 있으며, 이들로 인한 환경오염 유발의 특성 및 정도는 개발방식, 개발정도, 선광방법, 생산광종, 광산환경 등 개발여건에 따라 좌우됨.
- 광해현상은 장기간 지속적으로 발생하는 것이 특징이며 특별한 환경안전 조치가 이루어지지 않는다면 다수의 민원소지는 물론이고 하천오염, 토양오염으로 인한 농작물의 피해와 지역주민들의 생활환경상의 위해, 생태계의 변화 우려 상황에 도달할 수 있음.
- 이러한 광해에 대한 원인과 현상을 조사하여 분석하고 이에 대한 적절한 대책을 시행함으로써 광해로 인한 환경적인 위해를 예방하고 주민 생활환경을 개선해야 할 것임.



(그림 13) 광물찌꺼기 처분기준과 환경안전



(그림 14) 광물찌꺼기 무해화 공정도

## ● 금속 폐석 갱내충전법

- 기존의 폐갱도 및 채굴갱도에 광물찌꺼기를 운반하여 충전시키는 방법으로서 매립을 위한 별도의 부지는 필요하지 않으나, 채굴갱도에 대한 정확한 정보와 해당 지역의 지질특성 등 사전조사가 필요함.
- 충전 대상 폐갱도는 광물찌꺼기 등을 운반할 수 있는 장비의 출입이 가능한 구조와 규격이어야 함.
- 지하수 오염 등 2차적인 환경오염 문제 등이 발생할 수 있으며, 갱도에 대한 정

확한 정보부족으로 안전사고, 갯내 광물찌꺼기 운반시설 설치의 기술적 어려움 및 경제적 부담이 요구됨.

## ● 금속 폐석 처리 방안

- 외부로 반출하여 지정폐기물 처리업체에 위탁하여 처리하는 방식임.
- 비교적 빠른 시간에 처리가 가능하고 공사가 간단하다는 장점이 있으나, 폐석을 사업대상지에서 폐기물 처리업체까지 이송거리와 물량에 따라서 처리비용이 급격히 증가된다는 단점을 가지고 있음.
- 광산피해의 방지 및 복구에 관한 법(약칭: 광해방지법) [법률 제13729호, 시행 2017. 1. 7.] 제11조(광해방지사업의 범위)에서 가행광산 · 휴지광산 및 폐광산에서 발생하였거나 발생이 예상되는 다음 각 목에 해당하는 광해의 방지 및 훼손지 복구사업을 규정하고 있음.
  - 광산개발 중에 발생하는 폐석
  - 광물을 선광 및 제련하는 과정에서 발생하는 광물찌꺼기 · 광재 및 침출수
  - 광물을 채굴한 자리의 붕괴 등으로 인하여 발생하는 지표의 함몰 및 지반의 균열
  - 갯에서 유출되는 오염수 및 선광장에서 발생하는 오 · 폐수
  - 광업활동으로 인한 소음 · 진동 및 먼지
  - 그 밖에 광업활동에 의한 산림 및 토지훼손(토양 및 농경지오염 포함)

## 5. 구룡광산 재개발에 대한 주변 영향

### ● 주변지역 수질 현황

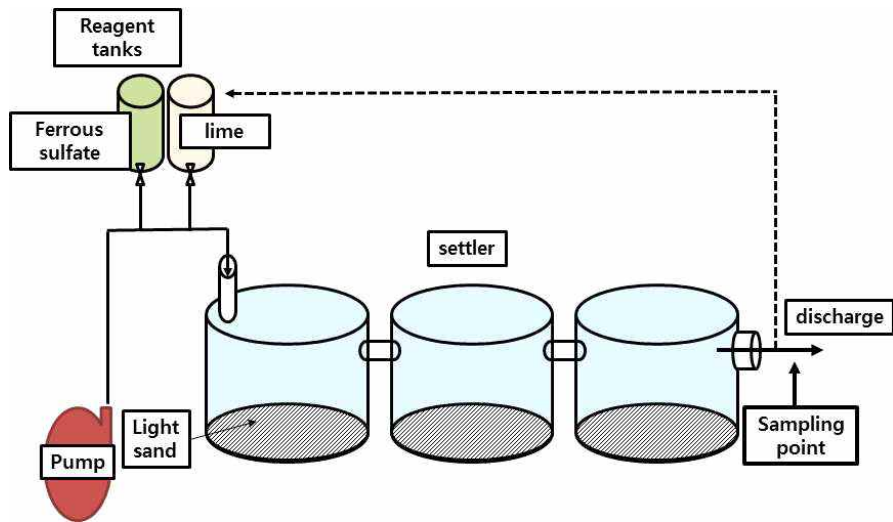
- 금속광산에서 발생하는 갯내수에 대한 광산 수질기준 항목은 pH, COD, BOD, SS, Fe, As, Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, CN임.
- 사업자가 민간기관에 의뢰하여 분석한 사업지구 주변 방류수질 자체조사(2017. 07)는 pH 6.92~6.99 기준 유지, Zn 0.073, Cu 0.042, As 0.028~0.034(단위 : mg/L)로 기준치 이내, Cr, Hg, CN 불검출로 제시함.

- 그러나 「환경정책기본법」 제22조(환경상태의 조사·평가 등), 「물환경보전법」 제9조의3(수생태계 현황 조사 및 건강성 평가)하천 수질현황 및 추세 파악으로 주요 환경정책 의사결정 근거자료가 되는 일부 항목은 기준을 초과함 : Pb 0.212mg/L(기준 0.05), Fe 12.579~18.579mg/L(기준 10)로 기준치 초과.

## ● 갯내수 처리시설

- 석영맥을 갯도 굴진 채굴하여 수선정광을 인근 산업단지의 선광공장에 납품하므로 별도의 채광과 수선정광 시 발생하는 폐수 및 오탁수는 발생하지 않는다고 하였으나, 갯도개설로 갯내수의 발생에 대비하여 갯도상의 양면에 자연배수로로 만들고 갯도상 50m 간격으로 폭 0.5m, 길이 2.0m 내외, 깊이 0.6m의 간이 집수조를 만들어 일정기간 집수시켜 침전시킨 후 6인치 배관을 이용하여 갯외 집수조 배수 계획.
- 갯내에 신규 집수정을 설치함과 아울러 기존 갯도내 갯내수는 갯외에 3개의 집수조에 배수하고 중금속 및 산성배수(AMD/ARD) 발생에 대비하고 정화를 위해 석회석 3차례의 침전 집수조를 경유시킨 후 일정 유속으로 방류한다고 하였음.
- 현재의 갯내수 집수 및 처리 시험시설로는 예상되는 갯내수의 성상변화 및 발생량에 정확히 대비할 수 없다고 판단함. 그리고 선광, 정광 후 광물찌꺼기와 갯내수 처리 슬러지 갯도충전 방안은 안전성 입증이 불확실하므로 무해화 입증이 선행되어야 함.

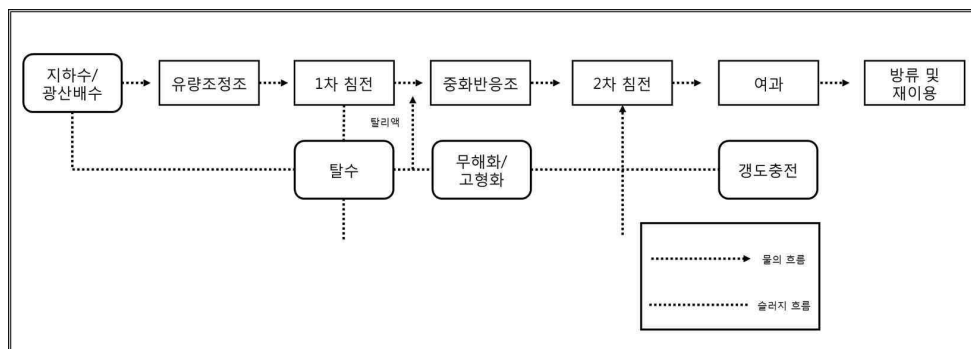




〔그림 15〕 설치 운용 중인 집수조 공정도



〔그림 16〕 설치 운용 중인 갯내수 집수조



〔그림 17〕 광산폐수 처리공정 계획도

## ● 광해방지 외부효과 처리비용 부담

- 채굴계획을 인가할 때 「광업법」 제43조 제1항에 따라 허가 등이 의제되는 사항을 해당 의제제도를 통하지 않고 개별 법령의 허가 등 절차에 따라 별도로 받을 수 있다고 하더라도 광산안전법 규정 준수가 필요함.
- 광산안전시설계획에는 갱내수 및 폐수 등의 처리시설과 구조, 지반침하 또는 사면붕괴 등에 대한 광해방지를 위한 사전 대책 및 계획 등을 포함하여야 한다고 규정하고 있음.
- 산업통상자원부장관은 채굴권자가 제출한 채굴계획서와 측량실측도 등의 내용을 기초로 광산개발로 얻어지는 사회·경제적인 이익과 환경이 파괴되는 등 공익의 침해정도를 비교 형량하도록 규정하고 있음. 그러나 광산 재개발 사업시행 시 뒤따르는 환경피해는 불특정 다수 지역주민에게 피해를 발생시키게 됨.
- 현재까지도 광해방지가 완료되지 않은 상황에서 광산 재개발 시 기존 광해방지 작업 추진 및 소요비용 부담에 대한 승계여부도 사업자가 적시해야 함.
- 현행 '광산 피해의 방지 및 복구에 관한 법률(약칭: 광해방지법)'에는 채굴 계획의 인가를 받은 자에게 광해방지 책임을 지우고, 비용도 '원인 유발자 부담 원칙'을 규정하고 있음. 그러나 채광 과정에서 발생하는 광물찌꺼기를 광산 밖으로 처리하기 어렵고, 광산 안 적치장에 쌓아놓고 있는 실정임. 광해방지사업을 위한 사업비 70%를 국고에서 지원하고 있지만, 안전에 대한 관심이 높아진 상황에서 광해방지 의무자 외에도 체계적인 광해방지 대책을 마련하기 위한 관심과 지원이 필요함.
- 환경적 안전성, 경제적 효율성, 사회적 수용성을 동시에 만족시키는 광산 폐기물 안전관리체계가 정착되어야 함.

## 1. 결론

### ● 광산 재개발 사업계획의 적정성

- 사업계획서에 제시된 광산 재개발 과정에서 수반되는 재개발 사업의 경제성 판단이 없고, 광해방지대책은 사업계획의 구체성이 없는 상태에서 일반적인 수준에서 언급하고 있음.
- 주변지역의 지질, 토양, 수질, 지하수, 자연생태계, 농경지이용 등 재개발 사업에 따른 환경상의 영향을 예측하여 광석 채굴, 선광, 정련 공정에 대한 물질수지를 고려한 구체적인 오염저감 시설의 규모, 입지, 운영방법 등에 대한 종합적인 정밀조사와 검토 필요.

### ● 광산 재개발 광해방지 계획의 적정성

- 광산 재개발 사업면적이 임야 4,730㎡로 소규모환경영향평가 대상(10,000㎡ 이상)이 아니나 개발사업에 따른 환경피해는 정성적 해석보다 정량적 예측을 통해 예상되는 환경영향의 최소화 필요
- 경석장의 위치와 진입로 계획은 제시하였으나 광물찌꺼기 적치장의 위치, 처리 방법, 화학약품 물질투입량, 침출수 방지 등 광해방지계획 등에 대한 오염발생량과 오염도 등에 대한 자료를 바탕으로 구체적인 계획을 제시하지 못함.
- 채광에 따른 폐석 및 광물찌꺼기 발생량과 처리량, 선광과정에서 투입약품의 종류와 양 등 환경위해성을 고려한 물질수지균형식(mass balance equation)을 적

용하여 계산한 다음 저감대책을 제시해야 함.

### ● 광산 재개발 사업의 타당성 판단

- 광산 재개발 관련 채광·선풍·정련 공정은 복합적인 환경오염 우려에 대해 공학적 설계요소를 적용하여 만족시킨다 하더라도 처리공정에서 파생되는 환경오염 유발 외부효과에 대한 사회경제적 요소로 지역주민과의 관계, 환경피해 배보상, 광해방지 복구 비용부담 여부 등이 중요한 변수임.
- 광산 재개발 대상지역은 1994년 폐광이후 광해방지 사업시행으로 수질오염과 토양오염으로부터 안정화 되어가고 있는 상황에서 채굴에 의한 갭내수 유출은 환경용량 특성상 하천유량이 적고 기존 산성암반수(ARD) 오염과 광미적치장에 의한 토양오염이 발생하는 등 취약요인이 있으므로 재개발사업 시행 시 누적환경영향(cumulative environmental impact) 요인을 고려해야 함.

## 2. 정책제언

### ● 광산 재개발 사업 예비타당성조사 계획수립 필요

- 사업계획서에 광산 재개발 과정에서의 환경영향을 예측하고 평가하기 위해서는 예비타당성조사가 필요하며, 현재 대상지역은 장기간 휴폐광 상태에서 광해방지 사업으로 안정화 단계를 유지하고 있음. 그러나 재개발 시 인위적 오염이 심각해질 것이므로 이에 대한 사전 조사와 대비책이 선행되어야 함.
- 주변지역의 지질조사, 암석, 토양 및 수질오염에 대한 정밀조사방법은 환경부의 폐광조사방법 또는 토양오염정밀조사지침에 근거하여 시행.

### ● 광산 재개발 사업계획과 연계한 환경보전계획 병행 수립

- 사업대상지는 “국토의 계획 및 이용에 관한 법률” 상 계획관리지역으로서 10,000㎡ 이상일 경우 사업시행과 함께 소규모환경영향평가가 필요.
- 본 사업의 허가면적은 4,730㎡로 한정하여 영향평가를 회피하고 있으나, 사업의 사회·경제·환경적 파급효과를 고려하여 주민의견 수렴 등 절차적 정당성 확보와

광산 재개발 사업의 환경피해 최소화 차원에서 필요.

- 경제적 타당성 확보 실행계획의 일환으로 지역의 부존자원을 개발할 경우 사업계획 수립 시 환경보전계획과 병행하여 추진함으로써 시간과 노력의 외부불경제 효과와 기회비용을 줄일 수 있어야 함.

## ● 광산 재개발 사업 광해방지대책 수립 필요

- 채광·선풍·정련의 일련의 공정은 비산먼지 발생, 산성광산배수 발생, 폐석·광물찌꺼기 발생, 침출수 발생, 지하수 및 하천오염, 중금속에 의한 토양오염 등의 우려가 있음.
- 공학적 설계요인은 충분히 만족시킬 수 있다 하더라도 사업대상지역의 환경용량 특성상 수용하천의 유량이 적고 기존 산성암반수 오염이 발생하는 등 취약요인이 있음.
- 사업 타당성 조사를 위해 사업자, 지역주민, 행정기관 합의 하에 외부의 공신력이 있는 기관에서 조사하고 그 결과를 공개하는 것도 방법이 될 수 있음.

(끝)