

2004 지하수토양환경학회 동계 WORKSHOP

폐광산 오염조사 사례 및 복원기술

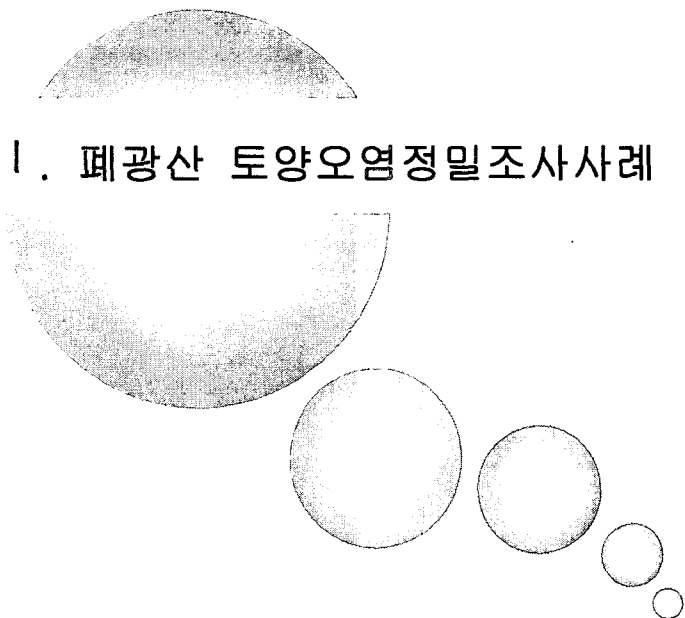
2004. 2. 13.

안 홍 일

(환경지질사업처, 환경복원기획팀)

 농업기반공사

I. 폐광산 토양오염정밀조사사례



추진경위

1999 ~ 2000	오염정화명령에 의거 인근 농경지 복토작업
2001	광산지역 토양분석(환경부) 기준치 이하
2002. 12. 13	광산지역 토양중 비소, 아연 기준치 초과(복구청)
2003. 1. 30	광산지역 토양오염 언론보도(YTN)
2003. 2. 19	시 토양오염실태조사:토양(비소, 아연, 니켈)기준치초과
2003. 4. 2	행정명령(토양정밀조사 및 오염토양 정화명령)
2003. 5. 27	조사용역 계약체결
2003. 6. 17	조사계획 설명회 개최
2003. 6.	현장조사 착수

조사설계용역개요

과업명	토양, 지하수오염정밀조사 및 복원설계
대상부지	00시 0구 00동 00건설㈜ 소유부지
면적	약 12만평(396,700m ²)
조사기간	2003. 5. 27 ~ 2004. 5. 26 (12개월)
수행내용	<ul style="list-style-type: none"> • 부지내 토양/지하수 오염정밀조사 • 적용가능 복원공법 평가 및 공법선정 • 오염토양 복원 추진을 위한 실시설계
조사기관	농업기반공사, 동의공업대학

조 사 내 용

부지 내 오염토양 지하수 정밀조사 분야

- 시료채취 및 분석에 의한 토양오염도 조사
- 관측정 설치 및 지하수 오염도 조사
- 오염규모 및 오염량 산출
- 지하수 유동/확산 모델링
- 오염원 확인

지질/광상 및 중금속거동특성

- 오염과 지질특성과의 관련성 해석
- 토양/지하수 중의 지구화학적특성

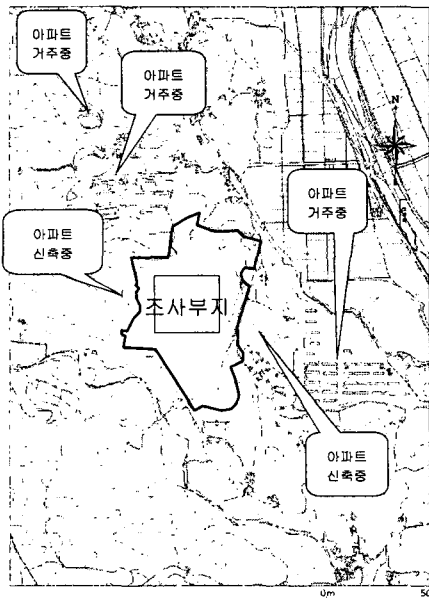
적용가능 복원공법평가 및 공법선정

- 오염물질 처리기본방안 검토
- 복원공법 선정
- 공법실증시험
- 공법정밀분석

오염토양 복원설계 분야

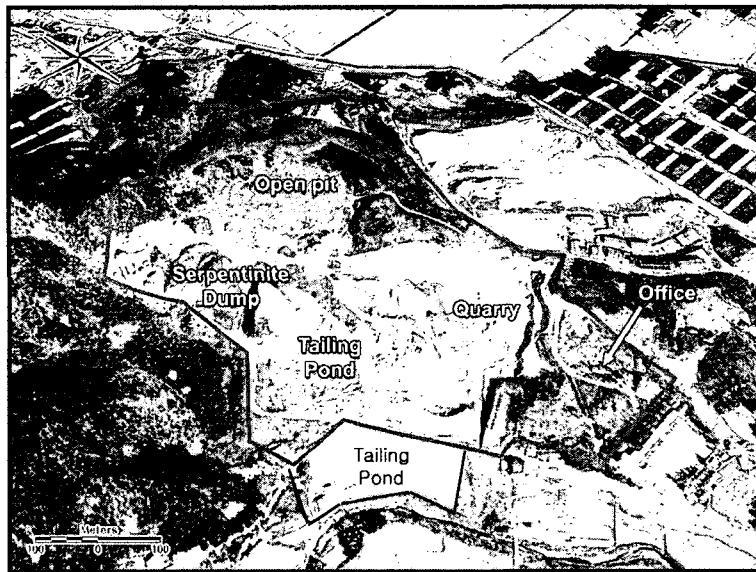
- 복원사업 기본계획 수립
- 복원사업 수행을 위한 설계도서 작성
- 복원사업 수행을 위한 시방서 작성

조 사 지 역 위 치 도



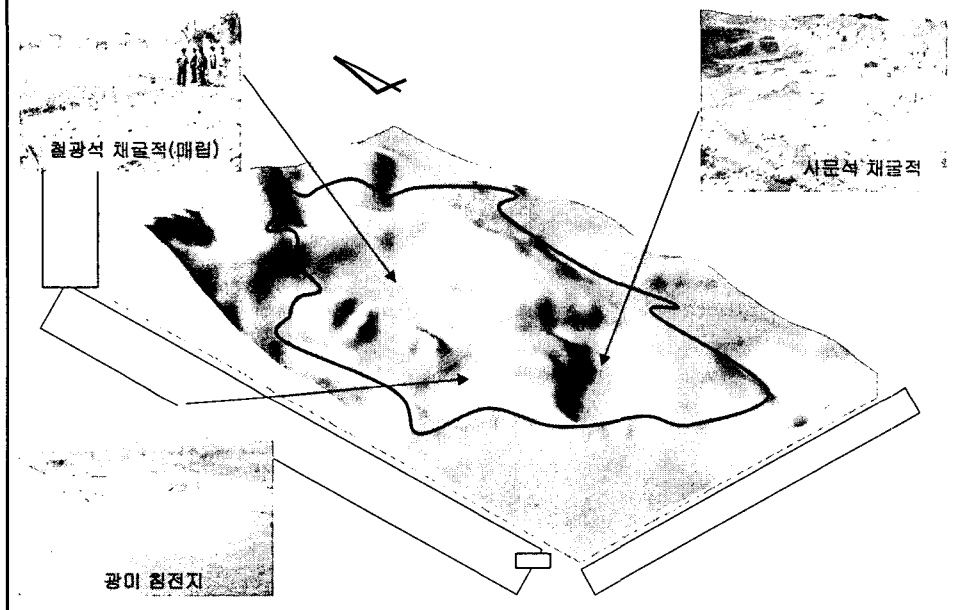
- 표고 약 100m 내외의 낮은 구릉지
- 부지 인접하여 상안천, 천곡천이 분포
- 최근까지 철광석/사문석 생산
- 현재 도시계획에 의거 아파트 및 학교부지 예정
- 도심지와 가깝고(15km 거리) 인근에 아파트가 밀집되어 시에서 미니신도시 추진 중
- 부지환경 개선시 경제적 가치 높음
- 현재 중금속오염 확인되어 토양오염 복원조사 수행중

조사지역 위성사진






(Survey in 1999)

조사지역지형도



주요 현장 특징

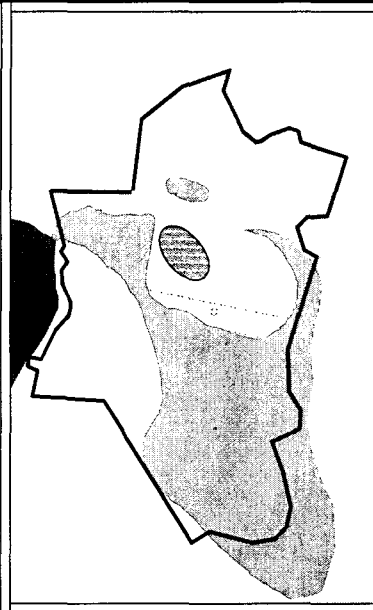
<p>사문석은 노천채굴 후 채굴적을 방치하여 빗물이 고인 큰 웅덩이 형성</p>		<p>철광석은 노천채굴(50m) 및 갱내채굴(300m) 후 외부토양으로 채굴적 매립</p>
<p>사문석채굴점</p>		<p>광미침전지</p>
<p>입주완료 아파트단지 인접, 주변아파트신축공사 현장 → 토양복원 미시행시 지역주민 고통 예상</p>		<p>주오염원인 철광석 광미는 선광과정에서 미세분쇄, 자력선별 후 부지내 광미 침전지에 매립(미립의 광미)</p>

광산 개발 현황

□ 광산 현황	
등록광종	철광석(1980년 40,000톤/년 생산), 사문석, 중석
채광방식	노천채굴(심도 50m) 후 갱내 채광(심도 300m)
□ 철광석, 사문석 생산 연혁	
철광석	최초생산 → 소규모개발 → 본격개발 → 갱내채굴 → 생산중단 (삼한시대) (1906년) (1964년, 노천채굴) (1974년) (1993년)
사문석	사문석개발 → 생산중단 (1977년) (2002년)
□ 광산 소유주 현황	
일본인 → 대한철광개발㈜ → 삼미그룹 → 폐광 → 00종합건설㈜ (1906년) (1964년, 국영) (1966, 민영화) (2003. 2) (2003년-현재)	

조사지역 세부지질

- 주변지질은 석회암, 사문암, 셰일, 화강암 등으로 구성
- 철광석은 석회암내 배대 (열수교대광상; (자철석, 유비철석))
- 사문암은 부지내 국한하여 존재



- 충적층
- 결정질 석회암
- 사문암
- 혼펠스
- 흑운모 화강암
- 사암질 셰일
- 조사부지 경계
- 철광석 광화대

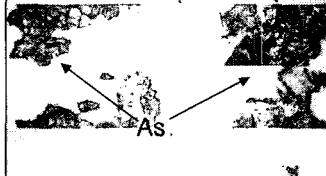
광화특성과 오염현상

□ 비소(As)

- 철광석내 유비철석($FeAsS$)으로 존재
- 광미의 장기간 풍화/산화로 비소 용출
- 광미 중 다량의 석회암이 공존하여 산성광산폐수(AMD) 발생 억제
→ 중금속 용출 최소화

석회암내 유비철석현상

(Photo by M.E.Park)



□ 니켈(Ni)

- 사문암은 Ni 함량이 매우 높은 암석 (암석중 평균 4,157ppm)
- 부지내 사문암에 의해 Ni 자연부화



사문암

(Photo by M.E.Park)

광화특성과 오염현상

□ 광미상태 (Mine tailings)

원광석 중에 방해석(calcite) 성분이 약 20%정도이며, 선별후 광미에서는 방해석 성분이 평균 40~50%정도이므로 pH 완충능력(Buffering Capacity)이 매우커서 Cr⁺⁶, Ni 등 중금속 용출가능성이 매우 적다



분포암석별 지화학 특성

원소	단위	석회암	사문암(1)	사문암(2)	화강암	호온펠스
SiO ₂	%	40.49	39.45	39.77	72.53	67.73
Al ₂ O ₃	“	5.04	1.07	1.05	13.64	15.94
Fe ₂ O ₃	“	21.36	6.03	4.88	0.81	0.46
MgO	“	0.58	38.48	34.39	0.40	2.05
CaO	“	30.84	0.63	3.77	0.90	4.39
Na ₂ O	“	0.01	0.25	0.18	4.71	1.27
K ₂ O	“	0.22	0.02	0.04	4.10	4.54
FeO	“	-	1.69	1.08	1.33	-
Cr	mg/kg	-	3.63	2.88	4.05	-
Ni	“	-	4,550.00	3,863.00	-	3.33
Zn	“	-	110.00	110.00	63.29	-

분포암석별 지하학 특성

유비철석

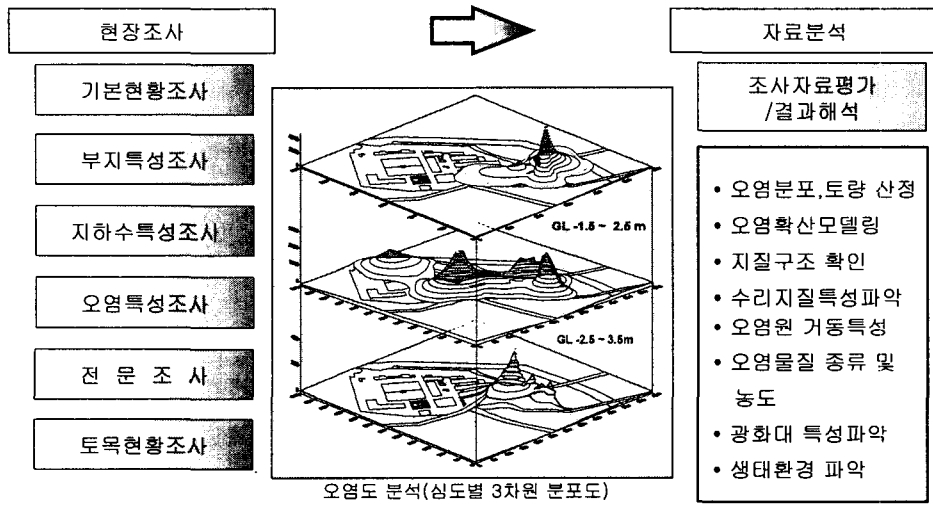
No.	Fe	Ni	Co	As	Sb	S	Total
A-1	34.51	0.13	0.05	48.35	nd	18.11	101.15
A-2	28.33	4.4	0.86	51.14	0.09	16.25	101.07
A-3	22.3	10.04	2.45	50.5	0.06	16.55	101.9
A-4	34.51	0.13	0.05	48.35	nd	18.11	101.15
A-5	34.69	nd	0.07	47.16	nd	18.93	100.94
A-6	34.91	nd	nd	44.45	nd	20.96	100.32
A-7	35.69	nd	nd	42.2	nd	22.2	100.09
P-8	45.76	0.11	nd	1.84	nd	51.95	99.66

A1-A7: 유비철석(arsenopyrite),
P8: 황철석(pyrite)

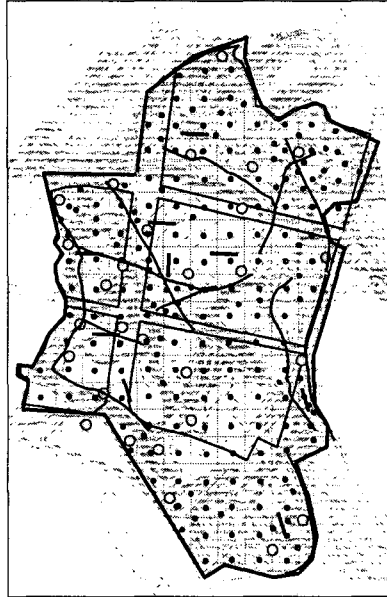
units in wt. %






조사 및 평가방법

(토양, 지하수, 오염조사)



현장 조사 현황



-  조사부지 경계
-  토양시료채취공
-  관측점
-  물리탐사측선
-  트렌치조사

부지 특성 조사

□ 지구물리탐사

- 조사지역에 대한 전반적인 지층내역 및 지하수 유동특성 파악
- 광미침전지 분포특성 파악



전기비저항 탐사



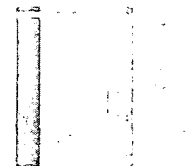
지하지질 구조해석

□ 정밀시추(관측정설치)

- 지하지질상태 파악
- 시추공 영상촬영(BIPS)
- 기존자료 검토(광산시추자료)
- 지질단면도 작성



관측정 설치



지층 특성 분석

지하수 수리특성조사

□ 목적

- 부지내 대수층특성(지하수수리특성) 파악
- 지하수 및 오염물질 거동해석

□ 대상

- 관측공(28공) 및 충전층지하수채취공(30공)

□ 내역

- 장기관측모니터링(수위, pH, EC, 온도)
- 양수시험, 순간수위변화시험, 공내영상촬영, 추적자시험



관측정운영

양수시험

순간수위변화시험

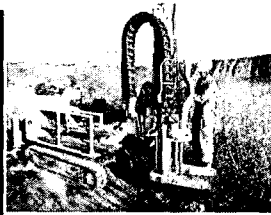
공내영상촬영

추적자시험

오염특성조사

□ 시료채취

- 토양 및 지하수시료채취
- 배경농도조사
- 지표수 시료채취
- 트렌치조사



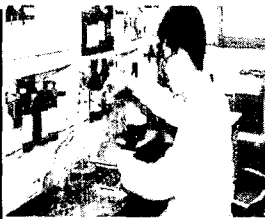
토양시료채취(Geoprobe)



트렌치 조사

□ 품질보증관리(QA/QC)

- 수행기준
 - 토양정밀조사지침
 - 토양오염공정시험법
 - 수질오염공정시험법
- 오염현황도 작성



시료 분석



오염현황도 작성

토양오염도 조사

□ 조사절차

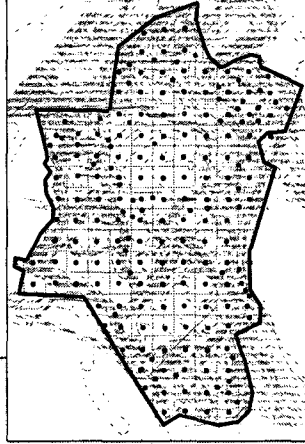
개황조사

- 시료채취
- 전항목 분석
- 주요오염물질 분석
- 조사결과 해석



정밀조사

- 시료채취 및 분석
- 오염경계 확인
- 오염물량 확정

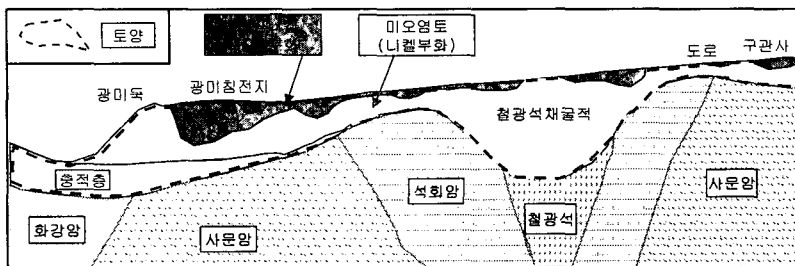


□ 시료채취 및 분석(개황조사)

- 50m X 50m 격자 당 1개 시료채취
- 표토(심도 1m), 심도(5m), 고심도(20m)로 구분 시료채취

토양오염특징

- 부지의 지질특성 및 광산활동에 의해 토양 중 중금속(비소, 아연, 니켈)이 법적 기준치 이상으로 부화.
- 니켈은 부지지질 중 하나인 사문암의 풍화로 부지 전체에 걸쳐 기준치 이상 자연부화
- 비소, 아연(일부 카드뮴)은 광미 등 광산활동영향을 받은 토양에서 오염확인
- 주요오염지역은 철광석 선광 후 발생한 광미 침전지로서, 최대 22m까지 오염
- 부지 전반에 걸쳐 표토 오염(도로, 관사지역 등에 인위적 광미 매립)



II. 폐광산 복원공법 설계



폐금속광산 정밀조사/오염방지사업

- 전국 900여개 휴·폐금속광산
- 오염우려 광산 조사
 - 광산주변 토양·수질·하천저질토 오염실태조사
- 정부투자수행사업
 - 토양정밀조사사업 : 10.8억원 ('97-'03)
 - 토양오염방지사업 : 356억원 ('95-'03)

폐금속광산 토양오염방지사업 사업비 현황

기간	광산수	총사업비	연평균 사업비	광산별 평균사업비
'95-'03	27개	356억원	39.6억원	13.2억원

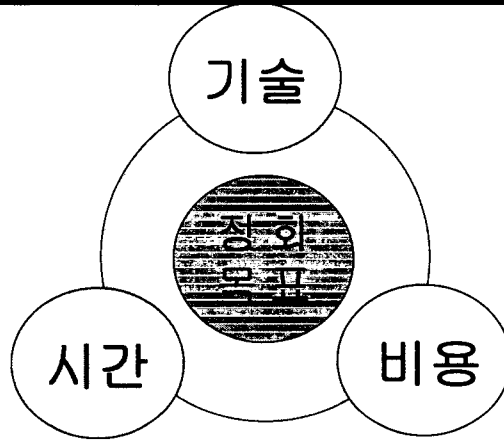
폐금속광산 토양오염방지사업 주요내용

사 업 구 분	주 요 내 용
갱구폐쇄	수직, 수평 갱구 폐쇄
매립처리장 조성	광미처리장조성, 매립지 조성
차수공사	광미매립 및 차수시설, 연직/표면 차수공사
광미, 오염토양, 폐기물처리	광미/폐기물/폐석 위탁처리/운반 매립처리
유출수(갱내수) 처리시설설치	광산유출수처리, 부지안정화공사, 반응벽체
사면보호공사	옹벽설치, 석축공사, 사면보호공사
우수배제공사	우수배제공사, 콘크리트 수로 및 개거
농수로정비	농수로정비, 수로정비
오염토양(농경지) 처리	절토, 성토, 순성토, 복토, 농경지개선, 토랑개량제(소석회 등) 사용처리
식재, 조경공사	식재공사, 잔디식재, 초류종사살포, 조경공사
준설공사	소하천준설, 하천오염토준설, 농수로준설
기타시설	구조물공사, 보호펜스, 음용수개발, 상수도이설

폐금속광산 오염방지사업 처리방안

대책시행 유보 (No Action)	관련법령에 의한 오염복원시행 의무		
통제/제한 (Institutional Action)	접근제한, 행위제한 등		
수집/폐기 (Collection, Disposal)	굴착가능, 폐기장 확보		
오염원 제 어 (Source Control)	저장/격리 (Containment /Isolation)	덮개(Capping), 수직벽(Vertical Wall) 매립지(Landfill Disposal)	
	처 리 (Treatment)	정 화 (Reclamation /Recovery)	토양세척법(Soil Washing) 용매추출법(Solvent Extraction) 식물정화법(Phytoremediation) 화학처리(Cheical Treatment) 등
	불 용 화 (Immobilization)	고형화(Solidification) 안정화(Stabilization) 유리화(Vitrification) 등	

복원공법설계 기본목표



- 오염정화계획수립의 기술-시간-비용-처리효과 간의 이해 상충
- 정화비용, 국내가용기술, 정화사업기간 ⇒ 최선의 조합구성

복원공법의 개발 및 선정

복원목표 설정	<ul style="list-style-type: none"> - 복원대상 매체결정 - 정화목표 농도기준 설정(오염물질별)
오염물질처리 기본방안	<ul style="list-style-type: none"> - 설정된 복원목표와 대상오염물질 및 부지특성 등을 고려 - 위해성·시공성·경제성·공기 등을 감안하여 장·단기 대책 검토
복원대상 처리량 결정	<ul style="list-style-type: none"> - 오염물질 노출수준, 잠재노출경로, 오염물질별 특성 파악 - 포화대/ 비포화대의 오염물질 분포 조사 → 복원대상 체적 결정
복원공법의 선별	<ul style="list-style-type: none"> - 복원조사에서 파악된 오염물질 종류, 농도분포, 부지특성 등의 자료를 이용하여 선정 - 현장에서의 기술적인 시공성에 근거
처리공정 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 복원기술 및 공정의 선별과정에서 채택된 처리공정의 효과와 시공성, 비용 등을 평가하여 보다 적합한 복원대안을 찾아가는 과정
복원대안 선정	<ul style="list-style-type: none"> - 현장에서의 오염물질 물리, 화학조성 및 거동특성과 수평, 수직분포 등 제반여건을 감안하여 검토된 공법 및 공정기술을 조합한 복원대안을 선정

공법 실증 시험

□ 실내시험 및 파일럿 규모 시험계획 수립 및 시행

□ 시험결과의 분석 및 평가

- 선정기술의 처리효율 확인
- 제품 및 장기간의 성능차이 분석
- 사용될 화학제품들의 효과 확인
- 실내시험결과를 분석하여 파일럿 규모 시험 공정선정 및 시험규모 설정
- 시공시 처리시설의 규모설정을 위한 설계/운전 자료 도출
- 사용자재와 오염물질 간의 상호 영향여부 확인



실시 설계

합리적 공정분석

- 공중 시공 가능성 분석
- 시공 정확성/편의성고려
- 현장성과검측 공중 반영
- 국내외 시공사례 수집반영

사업량 산정

- 명확한 사업량 산출근거
- 사업량 산출근거 명시

사업비 산정

- 표준품셈에 의한 단가표
- 품셈 미정립(오염복원 공중) 사업비 산출
- 전용프로그램 이용 산출



설계도서 작성

- 사업계획서 (단가표, 일위대가표, 내역서)
- 시방서 (일반시방서, 특별시방서)
- 설계도면

