

발 간 등 록 번 호
11-1543000-001505-01

농어업용 공공관정 정비를 통한 지하수자원 추가 확보 방안 연구 최종보고서

2016. 9.

주관연구기관 / 한국농어촌공사 농어촌연구원

첨단생산기술개발사업 R&D Report

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농어업용 공공관정 정비를 통한 지하수자원 추가 확보 방안 연구”(개발기간: 2014.09.25.~2016.09.24.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 09. .

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 (대표자) 이 용 직 (인)

참여기관명 : 씨앤에치아이엔씨(주) (대표자) 원 용 천 (인)

주관연구책임자 : 송 성 호

세부연구책임자 : 송 성 호

연 구 원 : 안 중 기, 홍 순 욱

이 규 상, 이 병 선

용 환 호, 김 진 성

박 종 환, 박 진 경

김 려 원, 권 현 진

남 기 원, 김 민 희

김 재 연

참 여 기 업 명 : 씨앤에치아이엔씨(주)

참여기업책임자 : 박 정 근

연 구 원 : 안 청 운, 김 병 엽

유 근 석

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	114049-2	해당단계 연구기간	2차년도	단계구분	2차년도/2차년도
연구사업명	중사업명	농림수산식품기술개발 사업			
	세부 사업명	첨단생산기술개발 사업			
연구과제명	대과제명				
	세부 과제명	농어업용 공공관정 정비를 통한 지하수자원 추가 확보 방안 연구			
연구책임자	송성호	해당단계 참여 연구원 수	총 : 14명 내부 : 10명 외부 : 4명	해당단계 연구개발비	정부 : 170,000천원 민간 : 57,000천원 계 : 227,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총 : 28명 내부 : 20명 외부 : 8명	총 연구개발비	정부 : 340,000천원 민간 : 114,000천원 계 : 454,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국농어촌공사 농어촌연구원			참여기업명: 씨앤에치아이엔씨(주)	
위탁연구	연구기관명: 해당없음			연구책임자: 해당없음	
보고서 면수	297				
요약	<p>1. 관정 기능저하 원인 규명</p> <ul style="list-style-type: none"> - 공공관정 기능저하 원인에 대한 과학적인 원인 규명 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 관정 노후화/기능저하 원인 규명: 충전 및 부식현상 ◦ 충전현상 세부원인 분석 ◦ 부식영향 요인 및 부식의 과학적 원인 분석 <p>2. 국내외 기술개발 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현장에서 시행되는 공공관정 정비방법 조사 및 정리 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 기계적 정비방법, 화학적 정비방법에 대한 정리 및 장·단점 분석 - 사후관리 국내특허 정리 분석 및 구분 - 공공관정 상시 유지관리 방안 제시: 관정내장형 상시 유지관리 방안 <p>3. 관정 기능진단 방법 정량화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기능이 저하된 공공관정에 대한 과학적이고 체계적인 진단방법 정량화 제시 - 관정 설계내역 조사방법 제시: 문헌/현장/보고서 작성 - 공공관정 수량 및 수질 진단 방법 정량화 <p>4. 관정 기능진단 표준화(안) 제시</p> <ul style="list-style-type: none"> - 관정정비(사후관리) 법적 시행근거 정리: 지하수법, 시행령, 시행규칙 				

- 관정 유형별, 기능별 표준화된 기능진단 기법(안) 수립
 - 기본진단: 문헌조사, 이용실태조사, 보고서
 - 세부진단: 문제점 분석, 현장세부진단, 보고서
 - 점검정비(사후관리) 시행: 관정 맞춤형 시행 방법
 - 상시 유지관리 시행

5. (현장시험) 관정정비 효과의 정량적 평가 기술 검토

- 기존 관정 기능진단 방법을 이용한 용수구역별 관정정비 현장시험(4개소)
- 관정 기능저하 원인 규명/기능진단 방법 타당성 검토
- 관정 기능저하 원인 규명 및 발전방향
 - 우물효율 평가를 위한 단계양수시험 결과 해석
 - 단계양수시험 현장적용 및 해석
 - 관정별 수질분석 결과 해석
 - 수질 및 수량 상관관계 분석

6. (현장시험) 정비공법별 지하수 추가 확보량의 정량적 평가 기술 개발

- 관정 기능진단 방법을 이용한 정비공법별 관정정비 현장시험(12개소)
- 관정별 5가지 기계적 처리공법(에어써징, 고전압 펄스 방전, 파워 버블, 브러싱, 워터 제팅) 적용 후, 각 공법별 지하수 추가 확보량 정량적 평가
 - 정비 전·후 대수성시험으로 추가 확보량 비교 평가
 - 정비 전·후 수중TV 검증으로 충전물질 제거 확인
 - 5개 공법별 우물효율 개선 비교 검토

7. (현장시험) 정비공법별 지하수 수질 개선 평가

- 관정별 5가지 기계적 처리공법(에어써징, 고전압 펄스 방전, 파워 버블, 브러싱, 워터 제팅) 적용 후, 지하수 수질 개선 평가
 - 정비 전·후 수질검사로 수질개선 비교 평가
 - 5개 공법별 지하수 수질변화 비교 검토

8. 상시 관정정비 기술 개발

- 지하수위 측정관을 이용한 원위치 관정세척 기술 개발 및 특허 출원(2건)
 - 우물효율 개선효과를 고려한 원위치 지하수 관정 세척 시스템과 그 세척방법
 - 원위치 수두 연동형 우물 세척 장치 및 그 방법

9. 공공관정 정비 체계화 방안

- 공공관정 관리기준 체계화 방안
 - 지하수조사전문기관 위탁관리
 - 시·군 지자체 관리구역 편입에 따른 관리

- 이용목적별 유지관리 체계화 방안
 - 한발대비, 발기반, 산간·오지 공공관정에 대한 체계화 세부추진

10. 관정정비 표준지침서(안)

- 3단계 점검정비 표준지침서 마련, 법적 이행사항 추진
 - 1단계: 점검정비 전 수량/수질 평가, 수중TV 검층 등
 - 2단계: 점검정비(사후관리) 시행(우물세정, 관정내부 정비, 세척, 제원 측정, 부품 수리 및 교체 등)
 - 3단계: 점검정비 후 수량, 수질 평가, 수중TV 검층 등 (※ 우물개선능 평가)
- 법적 이행사항 추진: 사후관리 이행신고, 사후관리 이행종료신고 등

11. 연구성과 사업화 추진(안)

- 국내 사업화 추진
 - 시·군 지자체 농어촌 용수구역 소재 약 27,926개소 농어업용 공공관정 대상
 - 자원(안): 농식품부 지특회계(지자체 공공관정) 및 농특회계(한국농어촌공사 공공관정)로 공공사업화 추진
- 해외 사업화 추진
 - 해외 후진국/개발도상국 수자원 조건불리 지역에 대한 기술 수출
 - 농업분야 전면적 시장개방에 대비한 표준화된 기술의 수입 대체 효과

연구의 목적 및 내용	<p>1. 연구개발의 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 과학적이고 체계적인 농어업용 지하수 관정정비를 통한 지하수자원 추가 확보 및 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 지하수 관정 기능회복으로 가뭄 등 기상이변 시 적기 지하수 공급 - 시설원에 등 지하수 용수 수요 증가에 따른 과학적 관정 정비로 추가 지하수 확보 - 농어촌지하수 최적관리정책 수립을 위한 표준화된 지침 개발 <p>2. 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 기후변화에 따른 아열대 기후 복상과 가뭄 등 기상재해가 빈번해짐에 따라 농어업용 지하수 관정의 상시 선량한 유지관리 및 최적 우물효율 유지 필요 ◦ 최근 농업환경이 고부가가치 시설농업 등으로 전환됨에 따라, 양질의 수질을 보유한 지하수가 오염에 취약한 저수지·하천수 등을 대체하여 이용증가 추세 ◦ 대부분의 농어업용 공공관정은 지자체 유지관리 예산 부족으로 정비(사후관리)를 부정기적으로 시행하여, 수량 부족 및 수질 저하에 따른 요구 수량을 충족하지 못하는 경우 발생 ◦ 농업인 단체 등에서 지자체 구역의 노후한 수리시설물과 열악한 유지관리환경 논란 등으로 체계적인 관정관리 요구 <p>3. 연구개발 내용 및 범위</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 관정 기능저하 원인 규명 ◦ 관정 기능진단 방법 정량화 ◦ 관정 정비기술(사후관리) 기술 조사 및 분석 ◦ 관정 기능진단 표준화(안) 제시 ◦ (현장시험) 관정정비 효과의 정량적 평가 기술 검토 ◦ (현장시험) 정비공법별 지하수 추가 확보량에 대한 정량적 평가 기술 개발 ◦ (현장시험) 정비공법별 지하수 수질 개선 평가 ◦ 상시 관정정비 기술 개발 ◦ 공공관정 정비 체계화 방안 ◦ 관정정비 표준지침서(안) ◦ 연구성과 사업화 추진(안)
연구개발성과	<p>1. 관정 기능저하 원인 규명</p> <p><u>[연구방법] 공공관정 기능저하 원인에 대한 과학적인 원인 규명</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 국내외 문헌조사 ◦ 기 현장자료 분석 ◦ 부식과 충전현상에 대한 과학적 고찰 <p><u>[연구결과] 관정 노후화 원인규명</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 유지관리 불량에 따른 노후화 ◦ 시설물 훼손(고의적, 자연적 파손): 양수장옥, 관정보호시설, 전기시설 훼손 ◦ 설비고장: 수중모터펌프 고장, 압상파이프 단락(누수), 전기누전 등(시설물 고장에 따른 토출불가 또는 토출량 감소) ◦ 지하수 이용에 따른 노후화 ◦ 충전: 화학적/미생물학적 침전물, 세립자 충전, 수중모터펌프 세립질 유입 ◦ 부식: 연결부 부식, 수중모터펌프 산화작용, 부식생성물의 침전/충전(수량 감소 및 수질 악화가 대부분 동시에 발생)

2. 국내외 기술개발 현황

[연구방법] 공공관정 정비방법 조사 및 정리

- 공공관정 사후관리 기술 문헌조사 및 현장에서 시행되는 기술 정리
- 특허청 특허검색을 통한 사후관리 국내특허 정리 분석
- 현재까지 국내 특허가 고안되지 않은 공공관정 상시 유지관리 기술 고안

[연구결과] 공공관정 정비기술 조사 및 분석

- 기계적인 관정정비 방법
 - 에어써징, 브러싱, 써지블록, 분사, 발파, 초음파 사후관리 등
- 화학적인 관정정비방법
 - 염소소독제, 킬레이트제, 계면활성제, 다중인산염 세척 등
- 사후관리 국내 특허기술
 - 특허검색: 지하수, 관정, 세척, 청소 등 키워드 검색(29건의 특허 검색)
 - 에어써징 11건(38%), 브러싱 9건(32%), 가스주입 1건(3%), 펄스방전 1건(3%), 기타 7건(24%)

3. 관정 기능진단 방법 정량화

[연구방법] 기능저하 공공관정에 대한 과학적/체계적 진단방법 정량화 제시

- 공공관정 진단방법 체계 수립
- 세부진단방법 수립을 위한 현장 실시설계 자료 분석
- 기능진단(안) 타당성 검증

[연구결과] 공공관정 기능진단 방법 정량화

- 현장에서 난립되어 시행되는 공공관정 정비방법 조사 및 정리
- 설계내역 조사: 인허가자료, 굴착자료(양수시험 포함) 조사 방법 정리
- 수량·수질 진단
 - 수량: 비양수량, 임계양수량, 우물효율, 투수량계수 등
 - 수질: 색도, 용존산소, 염소이온, 철/망간, 과망간산칼륨소비량 등
- 공내 검층 진단: 물리검층 및 수중TV 검층 등 방법 정리

연구개발성과

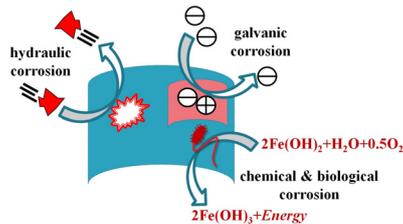


그림 1. 관정내부 시설물 부식 모식도

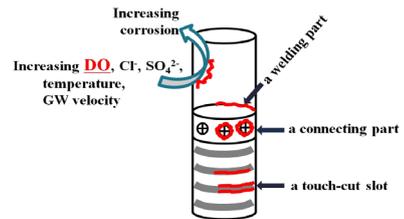


그림 2. 관정내부 자재 부식 위치

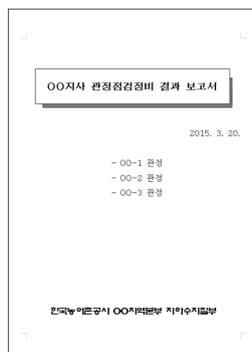


그림 3. 관정 점검정비 보고서(안)

표 3-3 지하수이용설비재료조사서(지하수업) 시행문의 별지 제2호서식

별지 제2호서식

지하수이용설비재료조사서

취수원호 (인공원호)	위치	이동식 유동식	지하수대역 (m)	지 위치 (m)	지 위치 (m)	당 수 사용 용량 (m³/일)	수량 조사 결과	수량 단위

기재사항

1. 유도는 생활용수·공업용수·농업용수·온천수·방목용수·기타로 구분하여 작성합니다.
2. 수질조사방법은 지하수법시행 제31조의 규정에 의한 수질검사결과에 따라 정액·불완전으로 기재합니다.
3. 양수량은 동위원자법 및 표준관정검 등용 기재합니다.
4. 취기 및 신로로 관리 부호하여 작성합니다.

3000(3000)mm 200mm(200)mm
97(97)mm 단위 (단위: mm)

그림 4. 관정 기능진단 워크시트

4. 관정 기능진단 표준화(안) 제시

[연구방법] 관정 유형별, 기능별 표준화된 기능진단 기법(안) 수립

- 지하수법 분석
- 농업기반시설 관리대장 및 관리체계 분석
- 기본진단-세부진단-점검정비-유지관리의 4단계 표준화 진단법 수립
- 각 진단에 대한 시행방법 상세 수립
- 점검정비에 따른 관정개선능 및 상시 유지관리 진단 방법 제시

[연구결과] 공공관정 기능진단 표준화(안)

- 관정 사후관리 법적 시행근거 기술
- 관정 사후관리 장·단점 분석
- '기본진단-세부진단-사후관리-유지관리' 순으로 관정진단 시행
- 기본진단
 - 문헌조사: 인허가자료, 지하수자료, 기타
 - 이용실태조사: 간이수질조사, 시설물 점검, 청문조사
 - 보고서 작성: 문제점 작성 및 세부진단 유무 결정 기록
- 세부진단
 - 기본진단 분석: 기본진단 보고서 분석
 - 수량·수질 문제점 진단: 수량 및 수질, 공내검층 등 세부진단
 - 보고서 작성: 최적 사후관리(안) 제시
- 사후관리 시행
 - 세부진단에서 제시된 방법 반영(단, 민원 고려)
 - 사후관리 시행 후, 사후관리 이전에 진단하였던 수량·수질 진단방법을 동일하게 적용하여 사후관리 전·후 관정개선능 평가
- 유지관리 시행
 - 짧은 주기 상시 유지관리로 선량한 시설물 유지관리

연구개발성과

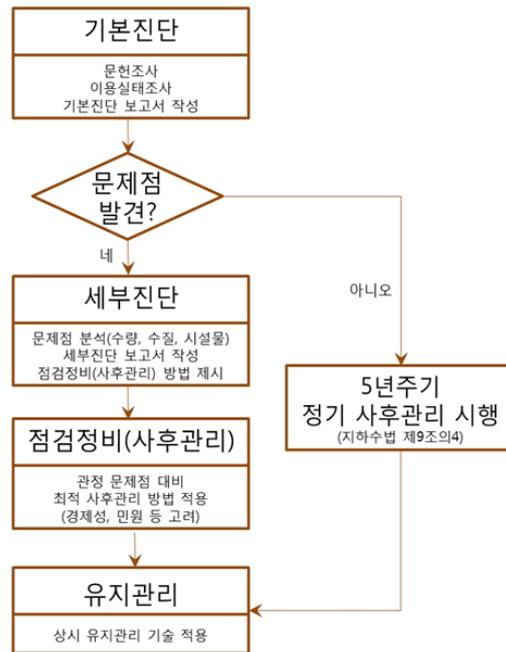


그림 5. 공공관정 기능진단 표준화(안) 흐름도

5. (현장시험) 관정정비 효과의 정량적 평가 기술

[연구방법] 용수구역별 현장시험을 통한 관정 기능저하 원인 규명

- 4개소 관정에 대한 우물효율평가를 위한 단계양수시험 최적 해석방법 모의
- 4개소 관정 사후관리 시 단계양수시험 현장적용, 해석
- 관정별 수질분석 결과 해석
- 수량과 수질에 대한 동시 분석으로 충전현상 및 부식과의 상관관계를 분석
- 관정별 기능저하 원인 규명 및 개선방향 제안

[연구결과] 용수구역별 관정정비 효율 현장 실험

- 4개소 관정에 대한 관정정비 효율 현장 실험
 - 우물효율 평가를 위한 단계양수시험 결과해석을 위한 최적 해석방법 모의
 - 4개소 관정 사후관리 시 단계양수시험 현장적용 및 해석
 - 4개소 관정별 수질분석 결과 해석
 - 충전현상 및 부식과의 상관관계를 분석
- 현장실험 방법
 - 세척(에어써징) 전·후 단계양수시험
 - 우물세척 전·후 지하수 수질검사

연구개발성과

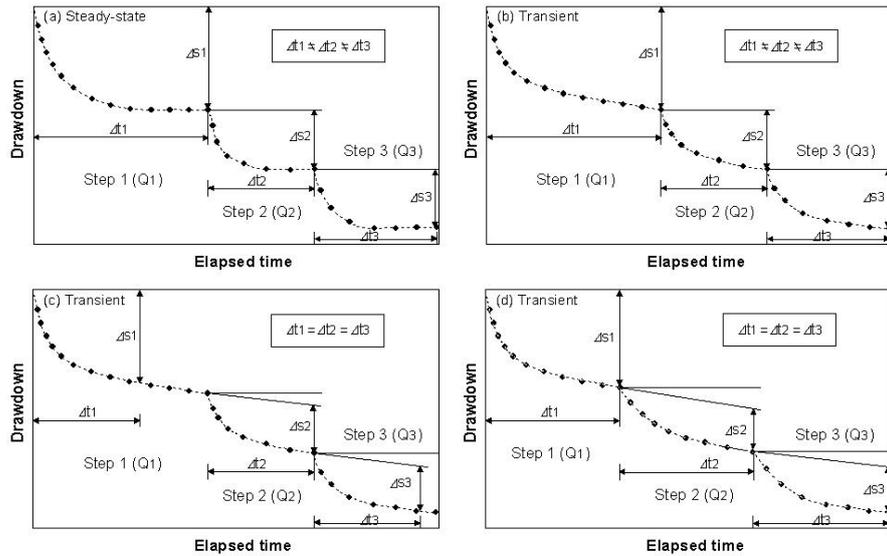


그림 6. 단계양수시험 자료 해석을 위한 개념적 접근 방법

- 현장실험 결과
 - 우물효율 증가는 개발 후 경과년수와 관련
 - : (3-5년 경과) SH관정: 6~7% 효율 감소, YP관정: 1~3% 효율 증가
 - : (9-10년 경과) SS관정: 22~32% 효율 증가, HW관정: 26~43% 효율 증가
 - 경과년수에 영향을 주는 주된 요인은 부유물질, 유기물 유입 등
 - : 수량 감소 원인은 충전 및 부식에 따른 수질저하와 직접적인 상관관계
 - : 관정 수질항목과 간이 수량평가로도 관정 막힘 현상 분석 가능
 - 관정 사후관리 우선 순위 결정
 - : 수질검사 결과로 진단 가능
 - : 현장 토출량 점검 결과로 진단 가능
 - : 관정별 기능저하 원인 규명 및 개선방향 제안

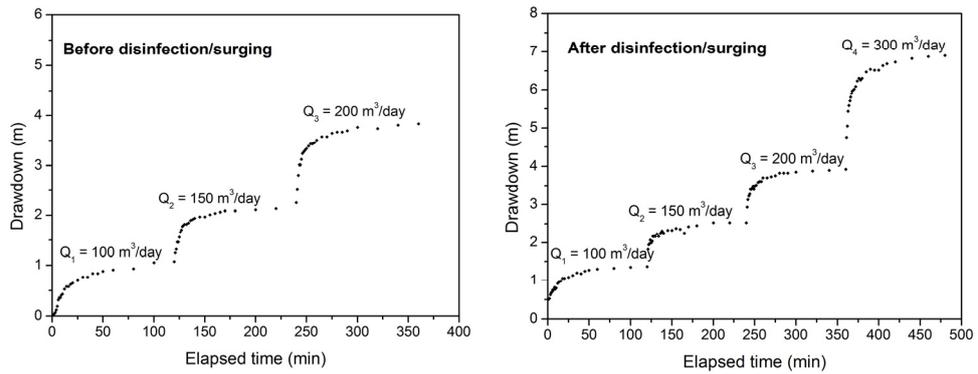


그림 7. 점검정비 후 우물효율의 증가(에어써징)

6. (현장시험) 정비공법별 지하수 추가 확보량 정량적 평가

[연구방법] 정비공법별 현장시험을 통한 관정 기능저하 원인 규명

- 12개소 관정에 대하여 5가지 정비공법(에어써징, 고전압 펄스 방전, 파워 버블, 브러싱, 워터 제트) 적용 후, 각 공법별 추가 양수량 및 우물효율 개선 정량적 평가
- 관정정비 전·후 대수성시험을 통한 지하수 추가 확보량 비교 평가
- 관정정비 전·후 수중TV 검층으로 스크린 충전물질 제거 확인
- 5개 공법별 수위강하량, 최대 양수량 및 우물효율 변화 비교 검토

[연구결과] 정비공법별 지하수 추가 확보량 평가를 위한 현장 실험

- 12개소 관정에 대한 관정정비 효과 정량적 평가를 위한 현장 실험
 - 관정정비 이전 시설제원측정에 의한 관정실측: 펄스횟수/간격 등을 정하기 위한 사전작업
 - 파워 버블과 고전압 펄스 방전 수행 시 사용압력, 폭발횟수, 사후관리간격, 방전횟수 등 기록
 - 단계별 동일시간 간격의 단계양수시험 및 16시간 이상 장기양수시험 시행
 - 각 공법의 차이점과 장단점 분석
- 현장 실험 결과
 - 12개소 관정에 대한 관정정비 전·후 실험 결과
 - : 우물효율 검토 결과, 2~11% 우물효율 증가
 - : 대수층 손실계수는 관정정비 전·후 유사, 우물손실계수는 다소 감소
 - : 비수위강하량은 전반적으로 단계가 증가함에 따라 증가
 - : 최종단계 비수위강하량은 공법적용 이전에 비해 0.0027~0.0029day/m²으로, 9~14% 증가

연구개발성과

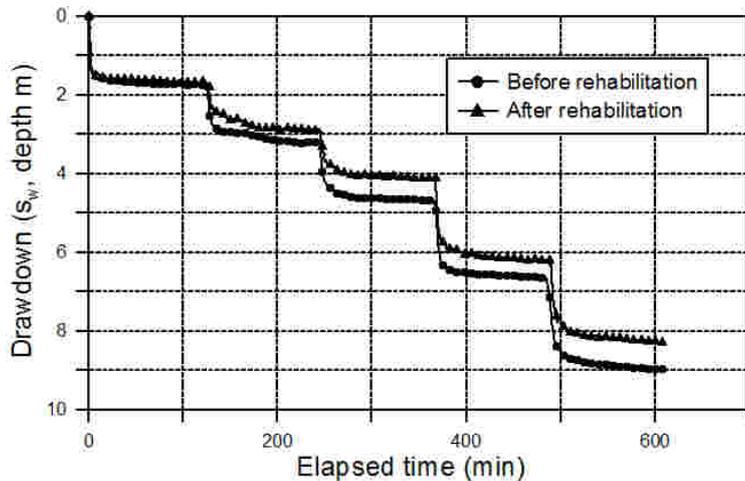


그림 8. 고안1 관정에서 점검정비 후 지하수 수위강하량의 변화

연구개발성과

: 관정정비 이후 지하수 추가 확보 양수량은 전체 토출량 대비 8~16% 증가하였으며, 양수량이 상대적으로 적은 관정에서 처리 효과가 상대적으로 큰 것으로 평가
 : 사후관리 전·후 투수량계수 변화는 거의 없지만, 수위강하폭은 감소
 - 관정정비 전·후 수중TV 검층으로 스크린 충전물질 제거 확인
 : 파워 버블 및 고전압 펄스 방전 등 체계화 된 현장시험 방법 필요

7. (현장시험) 정비공법별 지하수 수질 개선 평가

[연구방법] 정비공법별 지하수 수질 개선 평가

- 12개소 관정에 대하여 5가지 정비공법(에어써징, 고전압 펄스 방전, 파워 버블, 브러싱, 워터 제트) 적용 후, 각 공법별 지하수 수질 평가
- 관정정비 전·후 수질시료 채취 및 분석으로 수질개선 비교 평가
- 관정정비 전·후 수중TV 검층으로 탁도 및 색도 확인

[연구결과] 정비공법별 지하수 수질 개선 평가를 위한 현장 실험

- 12개소 관정에 대한 수질개선 효과 정량적 평가를 위한 현장 실험
 - 총 23개 수질항목 선정: 카드뮴, 비소, 시안, 수은, 유기인, 페놀, 납, 6가크롬, TCE, PCE, 111-TCA, pH, 질산성질소, 염소, 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 암모니아성질소, 과망간산칼륨소비량, 철, 망간, 탁도, 색도
- 현장실험 결과: 12개소 관정별 수질분석 결과 해석
 - 수중TV 검층결과 관정 사후관리 후 공내 탁도 및 부유물이 감소
 - 관정정비 전·후 수질검사 결과
 - : 탁도는 대부분 감소되었지만, 이온 및 중금속 물질 저감 크지 않음
 - : 수질개선이 동반된 사후관리 기술 개량 필요

8. 공공관정 상시 유지관리 기술 개발

- 목적
 - 관정개발 당시부터 관정 내에 상시적으로 관정 내부를 세척할 수 있는 장치를 설치하여, 관정 내부의 이용시설 인양없이 주기적인 압축공기 주입을 통한 세척을 하는 경우 장기간 우물의 성능을 최적화하여 유지
 - 지하수법에 제시된 지하수위 측정관의 형태를 개조하여, 원위치 관정세척이 가능한 두 가지 기술을 개발하여 특허 출원
 - 상시 유지관리를 통한 선량한 공공관정의 상시 유지·관리 방안 제시

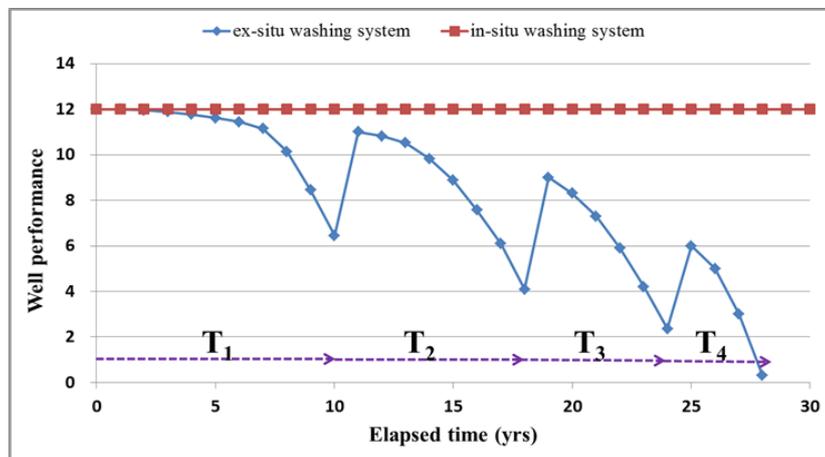


그림 9. 주기적 정비를 통한 관정 성능 유지 방안 개념도

연구개발성과

- 지하수 수위 측정관을 이용한 원위치 관정세척 기술 개발 및 특허 출원(2건)
 - 우물효율 개선효과를 고려한 원위치 지하수 관정 세척 시스템과 세척방법
: 출원번호: 10-2016-0064804호(2016.05.26.)
: 발명자: 송성호, 이병선, 안청운
 - 원위치 수두 연동형 우물 세척 장치 및 그 방법
: 출원번호: 10-2016-0064806호(2016.05.26.)
: 발명자: 송성호, 안청운

9. 공공관정 정비사업 체계화 방안

[연구방법] 정비사업 체계화 방안 고찰

- 시·군 지자체 공공관정을 지하수조사전문기관으로 위탁관리 방안 고찰
- 시·군 지자체 공공관정을 지하수조사전문기관으로 편입 추진 방안 고찰

[연구결과] 정비사업 체계화 방안

- 지하수조사전문기관으로 관리 체계화
 - 시·군 지자체 공공관정 정보를 웹기반 서비스(예: 농어촌지하수넷)를 통해 지하수조사전문기관과 상시 공유
 - 웹기반 서비스에 시·군 지자체 공무원의 관정정보 직접입력, 지하수조사전문기관은 공무원의 입력정보를 기반으로, 지하수법에 의거한 주기적인 점검정비(사후관리), 연장허가, 수질검사 등 법적이행사항 대행
 - 지하수조사전문기관은 QR코드를 공공관정마다 부여하여 현장에서 해당 공공관정 정보를 확인할 수 있도록 함.
- 시·군 지자체 공공관정 편입
 - 시·군 지자체 담당공무원 1~2인이 담당하고 있는 시군지역 공공관정을 지하수조사전문기관으로 편입 추진
 - 편입을 희망하는 시군부터 단계적 추진
: 편입시설 중 노후화, 용량부족 관정은 개보수사업에서 우선 지정
: 편입시설 중 수명이 종료된 관정은 불용하고 대체관정 개발 추진

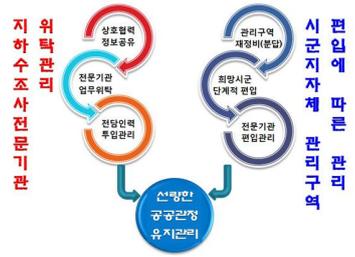


그림 10. 공공관정 정비사업 체계화 방안

- 이용목적별 체계화
 - 한발대비 공공관정
: 위탁기관 관리 체계화를 통하여 가뭄발생 전 선제적인 관정성능 유지·개선으로 가뭄발생 시 적기에 용수공급 추진
: 상습 가뭄발생 지역에 대한 관정 개발 등 용수급수시설 설치계획 수립
: 농어촌지하수넷 등을 활용하여 관정에 대한 종합적인 유지관리
 - 발기반 공공관정
: 시·군 지자체에서 지하수조사전문기관에 업무를 위탁하여 공공 발용수원 시설 및 급수구역 현황에 대한 일제조사

- : 위탁기관은 관정제원, 급수구역도 등 수집·정리 및 농업기반시설 등록부 및 농업생산기반통계연보 재 정비(발지역 생산기반정비사업 현황 보완)
- : 발기반 공공관정 사후관리 및 통합관리시스템 구축
- 산간·오지 공공관정
- : 체계적 관리로 작은 가뭄에도 변동폭이 큰 발농산물의 가격안정에 기여
- : 물복지 소외 농어민에게 고품질의 동일한 용수서비스를 제공

한밭대비 공공관정	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 187천ha 천수답 대상 (※가뭄에 취약) ◆ 전문기관 위탁관리를 통한 전문인력 투입으로 기후변화 대비 선제적 유지관리, 관정개발
발기반 공공관정	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 86천ha 관정설치 발 중 관리소홀지구 대상 ◆ 전문기관 이용실태조사로 농업생산기반 통계 연보 재정비, 공공관정 성능 유지개선
산간·오지 공공관정	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 산간·오지 발 농산물의 안정적 생산도모 ◆ 전문기관 위탁관리로 물복지 소외지역 서비스 격차 해소, 산간·오지 재해대응체계 강화

그림 11. 이용목적별 공공관정 정비사업 체계화를 통한 유지관리

10. 관정정비 표준지침서(안)

[연구방법] 관정정비 표준지침서(안) 개발

- 과학적인 3단계 점검정비 표준지침서(안) 작성
- 법적 이행사항 추진: 사후관리 이행신고, 사후관리 이행종료신고 등

[연구결과] 관정정비 표준지침서(안)

- 관정정비 표준지침서(안) 개요
 - 공공관정 중 노후화 관정 및 기능이 상실된 시설 대상
 - 3단계(점검정비 이전 수량·수질 평가, 점검정비(사후관리), 점검정비 이후 수량·수질 평가)로 나뉘어 시행
 - 점검정비 이전과 이후의 시험내역(대수성시험, 수질검사, 수중TV 검층 공중) 및 각 세부공종의 시험방법(시험시간, 분석항목, 검층 깊이 등)은 동일
- [1단계] 점검정비 이전 평가 방법
 - 양수시설 인양 전 대수성시험: 수량평가를 위한 사전자료
 - 양수시설 인양 전 수질검사: 수질평가를 위한 사전자료
 - 관정 내의 양수시설 인양: 내부시설물 파손에 유의
 - 관정 내 세정작업 전 수중TV 검층: 양수시설 인양 1일 이상 경과 후 검층
 - 관정 내 세정작업 전 소독제 투입: 관정용량에 적합한 용량
- [2단계] 점검정비
 - 관정 내부 세정작업: 관정맞춤형 최적 정비기술 적용
 - 양수시설 정비 및 세척: 청정한 시설유지 도모
 - 관정시설 수리 및 교체: 지속적인 관정 사용을 위한 노후화 부품 교체 등
 - 관정의 제원 측정: 개발당시 인허가자료와 비교 등 분석 시행
- [3단계] 점검정비 이후 평가 방법
 - 관정 내 세정작업 후 수중TV 검층: 점검정비 후 공내 환경변화 육안 관찰
 - 관정 내 양수시설 재설치: 내부시설물 파손에 유의
 - 양수시설 재설치 후 대수성시험: 내부시설물 파손에 유의
 - 양수시설 재설치 후 지하수 수질 검사: 점검정비로 인한 수질개선 판단
 - 점검정비 후 우물효율개선 여부, 수질개선 여부, 관정 내 잔존물 제거

연구개발성과

연구개발성과

- [법적 이행사항] 양수능력 150m³/day 초과 농어업용 관정
 - 점검정비(사후관리) 시행 전 「사후관리 이행신고서」를 시·군 지자체 제출
 - 이후 시·군 지자체로부터 「사후관리 이행신고증」 수령
 - : 점검정비(사후관리) 시행 중에는 항시 사후관리 이행신고증 상시 비치
 - 점검정비(사후관리) 종료 후 「사후관리 이행종료신고서」 시·군 지자체 제출
 - 시·군 지자체로부터 「사후관리 이행종료신고증」 수령
 - : 사후관리 이행종료신고증은 농어촌지하수넷 등 웹사이트 등에 업로드하여 지하수관정 정보화 관리 및 이를 토대로 매 5년 주기 사후관리 시행



그림 12. 농어업용 공공관정 정비 및 평가 방법

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)

1. 사업화 추진
- 국내 사업화 추진
 - 시·군 지자체 농어촌 용수구역 소재 약 27,926개소 농어업용 공공관정 대상
 - 사업 우선순위 결정 후 수탁사업 즉시 시행
 - 재원(안): 농식품부 지특회계(지자체 공공관정) 및 농특회계(한국농어촌공사 공공관정)로 공공사업화 추진

표 1. 사업화가 가능한 전국 농어업용 공공관정 (단위: 개소)

구분	소계		관리주체			
			시군지자체		한국농어촌공사	
총계	27,926	100.0%	26,542	95.0%	1,384	5.0%
특·광역시	2,872	10.3%	2,800	10.0%	72	0.3%
부산	1,318	4.7%	1,318	4.7%	0	0.0%
인천	412	1.5%	394	1.4%	18	0.1%
대전	474	1.7%	461	1.7%	13	0.0%
대구	198	0.7%	188	0.7%	10	0.0%
광주	185	0.7%	181	0.6%	4	0.0%
울산	270	1.0%	253	0.9%	17	0.1%
세종	15	0.1%	5	0.0%	10	0.0%
도	25,054	89.7%	23,742	85.0%	1,312	4.7%
경기	1,747	6.3%	1,569	5.6%	178	0.6%
강원	1,618	5.8%	1,497	5.4%	121	0.4%
충북	1,548	5.5%	1,422	5.1%	126	0.5%
충남	2,898	10.4%	2,803	10.0%	95	0.3%
전북	2,587	9.3%	2,353	8.4%	234	0.8%
전남	4,466	16.0%	4,303	15.4%	163	0.6%
경북	4,948	17.7%	4,680	16.8%	268	1.0%
경남	4,324	15.5%	4,209	15.1%	115	0.4%
제주	918	3.3%	906	3.2%	12	0.0%

		코드번호	D-01			
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 해외 사업화 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 해외 후진국/개발도상국 수자원 조건불리 지역에 대한 기술 수출 - 농업분야 전면적 시장개방에 대비, 표준화된 기술의 수입 대체 효과 2. 관정정비 표준지침서 활용 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 농업기반시설 중 지하수시설물에 대한 관정정비 표준지침서 보급 ◦ 관정 유형별 표준화 지침 및 관리시스템 구축 (※농어촌지하수넷 활용) ◦ 농어업용 공공관정 정비를 「지하수조사전문기관」으로 체계관리 방안 제시 3. 대농어민 서비스 제고 <ul style="list-style-type: none"> ◦ (이용성 제고) 농어업용 공공관정의 기능회복으로 관정 이용성 제고 ◦ (비용절감) 폐공 및 추가개발에 따른 소요비용 절감 ◦ (용수확보) 과학적인 사후관리기술을 전국 약 27,926개소 농어업용 공공관정에 적용하여 추가 지하수 자원 확보 및 청정 지하수 수질 개선 ◦ (상품화) 관정특성에 맞는 우물세척, 우물효율 개선능 평가, 추가 확보량 평가 기술, 수질·시설물 진단 평가 방법 등이 종합된 통합 서비스 상품 개발 					
	중심어 (5개 이내)	공공관정	점검정비	진단 표준화	지하수 추가 확보량	표준지침서

		Code No.	D-01
Purposes and Contents	<p>1. Objectives</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ To Secure additional groundwater resources by scientific and systematic rehabilitation for pre-existing agricultural public wells - Immediate irrigation of groundwater against severe drought events in accordance with climate change - Scientific rehabilitation responding to the increasing demands on groundwater of horticultural facilities - Development of standardized guidelines in order to establish optimal management for rural groundwater resources. <p>2. Necessities</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Sustainable management for agricultural public wells and maintaining their yields coping with frequently occurring severe drought events by climate change ◦ Increasing demands on groundwater as irrigation water for most horticultural facilities due to its relatively clean qualities compared with surface water such as streams and reservoirs ◦ Low-yields and deteriorating-qualities concerns for agricultural public wells by non-periodical rehabilitating actions due to the lack of local governments' budgets to maintain them ◦ Requirements of systematic managements for low-yield agricultural public wells located in rural area from local interesting groups <p>3. Contents and Scopes</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Identifying the causes for deteriorating groundwater quality from agricultural public wells with time ◦ Establishment of a systematic diagnostic method for agricultural public wells ◦ Investigation and analysis of on-site rehabilitation techniques ◦ Establishment of the standardized diagnostic guidelines for agricultural public wells ◦ (Field tests) Evaluating the effect of rehabilitation on groundwater quality and quantity ◦ (Field tests) Quantitative evaluation for improvement effects of performance after mechanical rehabilitation treatments on agricultural public wells ◦ (Field tests) Assessment on improvement of groundwater quality after mechanical rehabilitation treatments on agricultural public wells ◦ Development of short-term and in-situ rehabilitation methods ◦ A systematic rehabilitation plan on agricultural public wells ◦ A standardized guideline for rehabilitation on agricultural public wells ◦ Future applications 		
Results	<p>1. Identifying the causes for deteriorating groundwater quality from agricultural public wells with time</p> <p><u>[Methods] Scientific identification of the causes for deteriorating groundwater quality from agricultural public wells</u></p>		

	Code No.	D-01
Results	<ul style="list-style-type: none"> ◦ References for research ◦ Analysis of pre-existing field data ◦ Scientific consideration of the causes for incrustation and corrosion <p><u>[Results] Identification of the causes for deterioration of groundwater within the wells</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Deterioration due to the inadequate management for the wells ◦ Damage by natural disaster or non-intensive accidents ◦ Malfunction of ageing parts: decreasing yield of groundwater ◦ Natural deterioration due to groundwater use with time ◦ Incrustation: Chemical/microbiological precipitation on slots, filling sediments on slots and submerging motors ◦ Corrosion: hydraulic, galvanic, chemical, and biological corrosion, oxidation <p>2. Investigation and analysis of on-site rehabilitation techniques</p> <p><u>[Methods] Investigation of laws regarding rehabilitation and on-site rehabilitation techniques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Investigation of on-site rehabilitation techniques ◦ Investigation of domestic patents regarding rehabilitation ◦ Preparation for a short-term and in-situ rehabilitation equipment <p><u>[Results] Investigation and analysis of on-site rehabilitation techniques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Mechanical rehabilitation methods <ul style="list-style-type: none"> - Air-surgung, Blushing, Surge block, Emission, Blasting, and Sonic ◦ Chemical rehabilitation methods <ul style="list-style-type: none"> - Disinfection, Chelate, Surfactant, and Poly-phosphate ◦ Domestic patents(29) <ul style="list-style-type: none"> - Keywords for searching: Groundwater, Well(Borehole), Flushing, Cleaning - Air-surgung(38%), Blush(32%), Gas-injection(3%), Pulse-discharge(3%), Others(24%) <p>3. Establishment of systematic diagnostic methods for agricultural public wells</p> <p><u>[Methods] Establishment of the scientific and systematic diagnostic methods for low-yielding agricultural public wells</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Establishment of the diagnostic framework for agricultural public wells ◦ Analysis of design for the wells in order to make detailed diagnostic methods ◦ Verifying the newly developed diagnostic method <p><u>[Results] Quantification of a diagnostic method for agricultural public wells</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Search for the customized rehabilitation methods in fields ◦ Analysis of design for agricultural public wells: legal papers, facility information, and others ◦ Diagnosis for groundwater quantity and quality <ul style="list-style-type: none"> - Quantity: Specific yield, Critical yield, Well efficiency, and Transmissivity - Quality: Color, Dissolved oxygen, Chloride, Iron, Manganese, and Consumption of potassium permanganate ◦ Borehole logging: geophysical logging method, submerging TV camera recording 	

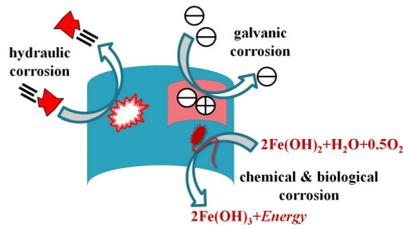


Fig. 1. Schematic view for corrosions

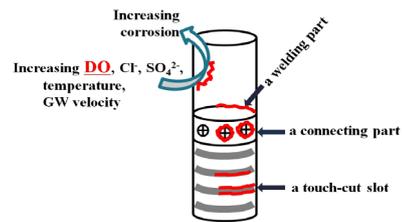


Fig. 2. Locations of occurring corrosion

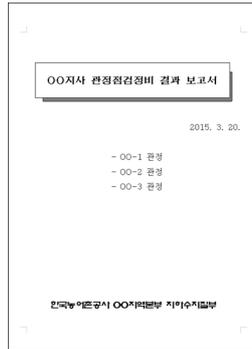


Fig. 3. A report for rehabilitation results

표 3-3 지하수이용설비관리요령서(지하수업 시행규칙 별의 제2표(보안))

별의 제2표(보안)

지하수이용설비관리요령서

위기관호 (인공번호)	위차	위종	지하수이용설비 (종류)	위 위치 (위도)	위 수위 (m)	위 수량 (m ³ /일)	위 수질 (수질)	위 관리

기초사항
 1. 위종은 생활용수, 농업용수, 공업용수, 농림용수, 온천수, 광천용수, 기타로 구분하여 작성합니다.
 2. 수질관리사항은 지하수법시행령 제23조의 규정에 의한 수질관리규정에 따라 정해·분할적으로 기재합니다.
 3. 위수량은 동해상기정 및 표준관정정 유출 기재합니다.
 4. 위차 및 인공호 차라 구분하여 기재합니다.

3000-1(보안) 200mm×297mm (일반용지 4단) 위

Fig. 4. A checklist for evaluating a diagnosis of the wells

Results

4. Establishment of standardized diagnostic guidelines for agricultural public wells

[Methods] Establishment of standardized diagnostic guidelines in accordance with well types

- Analysis of the Groundwater Act
- Review on register papers of agricultural public wells
- Standardized diagnosis guidelines including four stages
- Detailed implementation for each stage
- Establish of methods identifying improvement after rehabilitation and a year-round management guideline

[Results] Standardized diagnostic guidelines for agricultural public wells

- Demonstration of legal acts regarding rehabilitation methods
- Analysing merit/demerit of rehabilitation
- Standardized diagnostic guidelines consisting of four stages: basic inspection, specific inspection, rehabilitation, and management
- Basic inspection
 - Searching references: legal papers regarding licenses and permits, references for hydro-geologic features and others
 - Groundwater uses: groundwater quality, well facilities and public opinions
 - Report: reporting a result of the basic inspection, demonstrating problems on groundwater and decision for conducting specific inspection
- Specific inspection
 - Identifying problems from the report on basic inspection
 - Specific inspection: scientific assessment on groundwater quality and quantity, analysis for borehole logging

- Report: reporting a result of a specific inspection, suggesting an optimal and customized rehabilitation methods
- Rehabilitation
 - Applying the suggested rehabilitation method
 - Assessment on improving groundwater quality and quantity after rehabilitation
- Management
 - Applying short-term and in-situ rehabilitation methods

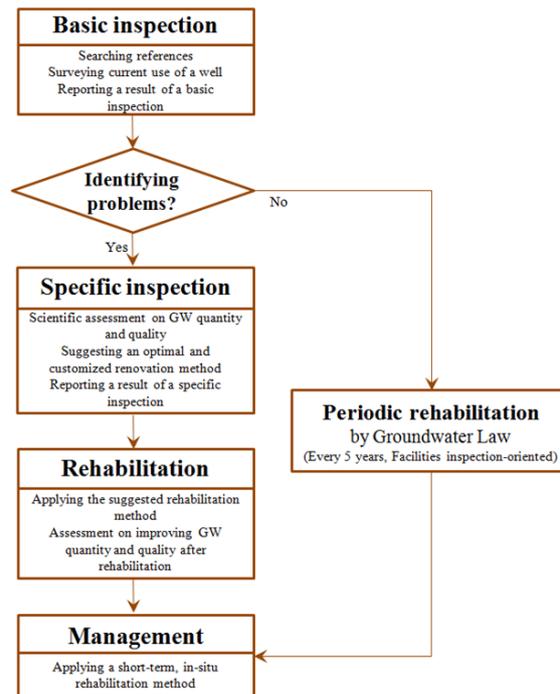


Fig. 5. A flowchart for the systematic diagnosis on the wells

Results

5. (Field tests) Evaluating the effect of rehabilitation on groundwater quality and quantity

[Methods] Identification of the causes of deterioration for agricultural public wells

- Consideration on optimal analysis for results from step-drawdown pumping tests
- Field tests for four agricultural public wells using the customized air-surgling rehabilitation method
- Evaluation of groundwater quality after applying rehabilitation processes
- Evaluation on a relationship between incrustation and corrosion by analysing both of groundwater quality and quantity
- Identification of the causes of deterioration of agricultural public wells and suggesting future plans

[Results] Field tests in order to identify the improvement after rehabilitation

- Field tests for four agricultural public wells
 - Consideration on optimal analysis for results from step-drawdown pumping tests
 - Field tests for four agricultural public wells using step-drawdown pumping tests
 - Evaluation of groundwater quality after rehabilitation

- Evaluation on a relationship between incrustation and corrosion
- Methods for field tests
 - Step-drawdown pumping tests before and after rehabilitation
 - Evaluation of groundwater quality before and after rehabilitation

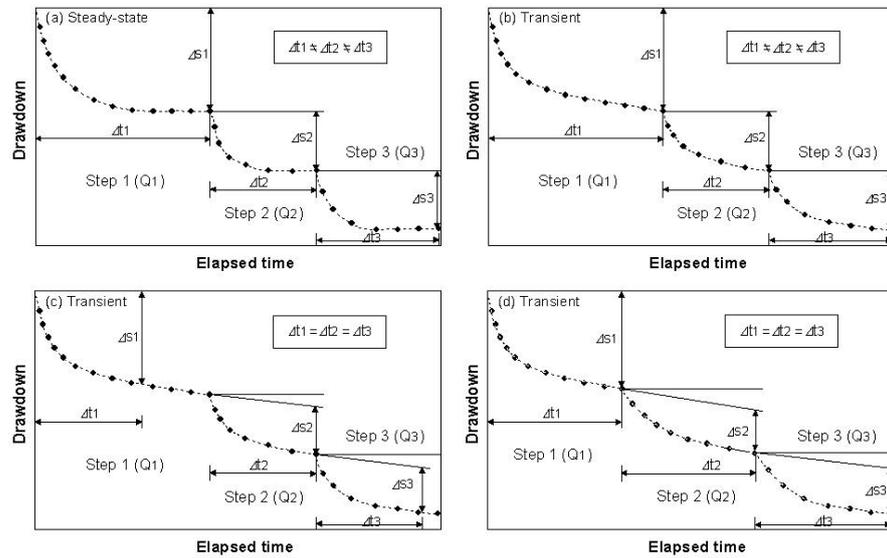


Fig. 6. Schematic approaches for analysing the step-drawdown pumping test

Results

- Results of the field tests for four agricultural public wells
 - The older groundwater well, the more increase of well efficiencies
 - : (3~5 years wells) SH well: decrease of well efficiencies ranging of 6~7%, YP well: increase of well efficiencies ranging of 1~3%
 - : (9~10 years wells) SS well: increase of well efficiencies ranging of 22~32%, HW well: increase of well efficiencies ranging of 26~43%

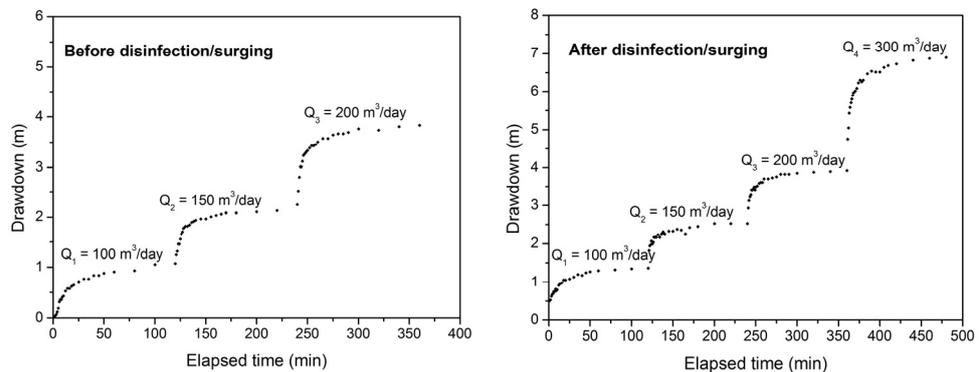


Fig. 7. Increase of well efficiency after rehabilitation (air-surgung)

- Floating materials in borehole and organic matters affecting the well efficiencies
 - : Both of incrustation and corrosion directly affecting decreasing yield and deteriorating quality
 - : Analyzing reports on groundwater quality being able to identify the incrustation

Results

- Suggesting the order of priority for the wells to be treated by rehabilitation
- : Analyzing report on groundwater quality possibly suggesting the order
- : A checklist to groundwater wells possibly demonstrating the order
- : Identification of the causes of deterioration for each well and suggesting future plans

6. (Field tests) Quantitative evaluation for improvement effects of performance after mechanical rehabilitation treatments on agricultural public wells

[Methods] Identification of the causes of deterioration by applying various customized rehabilitation techniques

- Field tests for 12 agricultural public wells using the customized five rehabilitation methods (air-surgings, high-voltage pulse discharge, power bubble, blushing, and water jetting)
- Quantitative evaluation on securing additional groundwater quantity after each rehabilitation method
- Identification for disappearance of clogging materials using a submerging TV camera
- Assessment and comparison on well efficiencies for five rehabilitation methods

[Results] Field tests in order to identify the improvement by applying various customized rehabilitation techniques

- Field tests for 12 agricultural public wells using the customized five rehabilitation methods
 - Ruling and measuring each part of the testing well: determining pulse intervals and numbers
 - Demonstrating experimental conditions
 - Analysing merit/demerit of each rehabilitation methods
- Results
 - Increase of well efficiencies ranging of 2~11%
 - Similar in aquifer loss coefficient before and after rehabilitation tests, Decrease of well loss coefficient

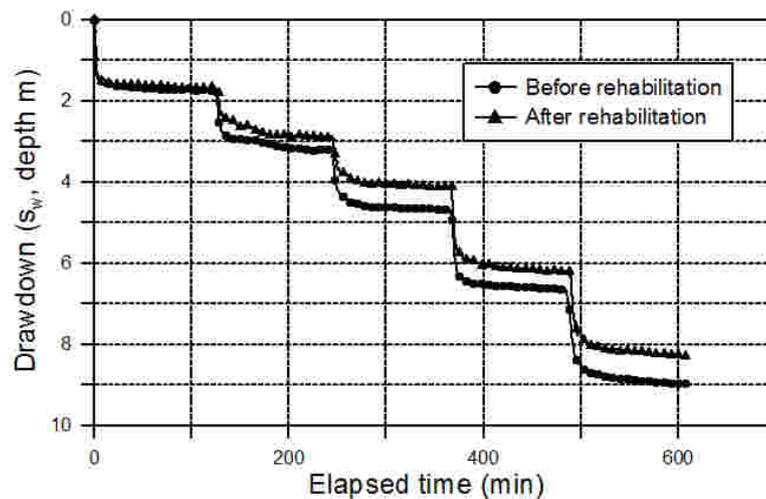


Fig. 8. Change of groundwater drawdown before and after rehabilitation in the Goan 1 public well

	Code No.	D-01
Results	<ul style="list-style-type: none"> - Increase of specific drawdown in high pumping stages - Specific drawdown in the last stage being recorded to be 0.0027~0.0029day/m², showing larger than it of the initial stage - Securing amounts of groundwater being 8-16% more than before rehabilitation - Similar in transmissivity before and after rehabilitation tests, decrease of drawdowns - Identification for removal of clogging materials using a submerging TV camera : required more systematic diagnosis methods using bubble and pulse <p>7. (Field tests) Assessment on improvement of groundwater quality after mechanical re-habilitation treatments on agricultural groundwater wells</p> <p><u>[Methods] Assessment on improvement of groundwater quality after mechanical re-habilitation treatments</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Field tests for 12 agricultural public wells using the customized five rehabilitation methods (air-surgling, high-voltage pulse discharge, power bubble, blushing, and water jetting) ◦ Quantitative evaluation on the improvement of groundwater quality after each rehabilitation method ◦ Evaluating groundwater color and turbidity after rehabilitation using a submerging TV camera <p><u>[Results] Field tests in order to identify the improvement of groundwater quality</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Quantitative evaluation on the improvement of groundwater quality for 12 wells after each rehabilitation method <ul style="list-style-type: none"> - Analysis for a total of 23 chemical/microbiological items ◦ Results <ul style="list-style-type: none"> - Decrease of floating materials and turbidity after rehabilitation by well logging using submerging TV camera - Results for groundwater quality demonstrating decrease of turbidity but similar in ion contents and metals - Required an advanced technique to control and improve both of groundwater quantity and quality <p>8. Development of short-term and in-situ rehabilitation methods</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Objectives <ul style="list-style-type: none"> - A short-term and periodic flushing method using pressed airs can attain in-situ management of groundwater wells, increasing the longevity of the wells using only small amount fund without lift up the groundwater facilities. - Modification of measurement tube for identifying a groundwater level ◦ Application of two domestic patents on in-situ rehabilitation method using measurement tube for identifying a groundwater level <ul style="list-style-type: none"> - In-situ rehabilitation method for groundwater wells considering the effect of well efficiencies : Application no.: 10-2016-0064804(2016.05.26.) : Developers: Sung-Ho Song, Byung Sun Lee, and Chung Woon An 	

- In-situ, interlocking rehabilitation equipment between groundwater level and a borehole and its method

: Application no.: 10-2016-0064806(2016.05.26.)

: Developers: Sung-Ho Song and Chung Woon An

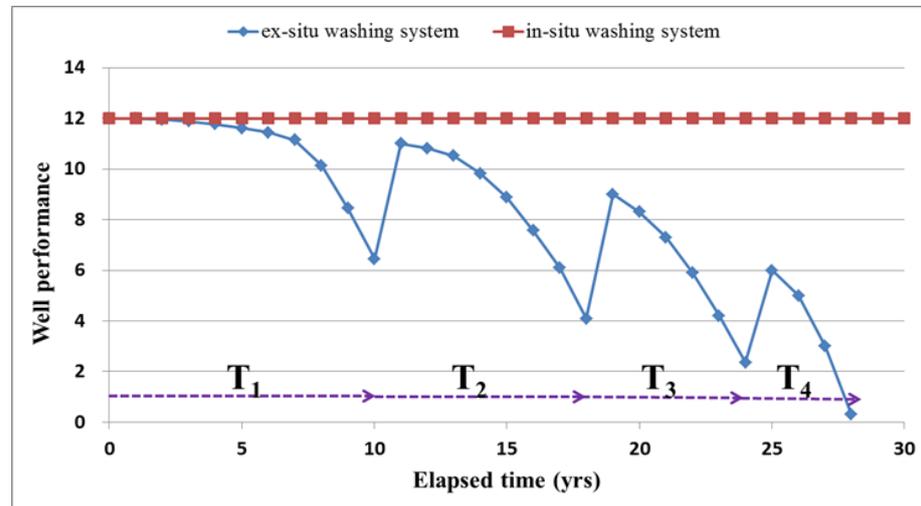


Fig. 9. Securing groundwater well efficiencies through periodical diagnosis

9. A systematic rehabilitation plan on agricultural public wells

[Methods] Consideration for a systematic rehabilitation plan on agricultural public wells

- Entrusting management of agricultural public wells by professionally designated surveying institutes for groundwater in Groundwater Act
- Enrolling agricultural public wells of local governments to professionally designated surveying institutes for groundwater in Groundwater Act

[Results] A systematic rehabilitation plan on agricultural public wells

- A systematic management by professionally designated surveying institutes for groundwater in Groundwater Act
 - Sharing groundwater well informations between the designated institute and local governments via the internet website(e.g., Rural Groundwater Net)
 - Local government officer entering data of local agricultural public wells into the website and the designated institute substitutionally managing the wells based on the information
 - Identifying the well information by administering QR code to each well
- Enrolling agricultural public wells of local governments to professionally designated surveying institutes for groundwater in Groundwater Act
 - Right for the wells transferring from local government officer to the designated institute
 - Gradual transferring the rights to the designated institute
 - : Priority rehabilitation for the deteriorated and low-yield wells being transferred from the local government
 - : Development of substitutional wells instead of fully deteriorated wells being transferred from the local government

Results

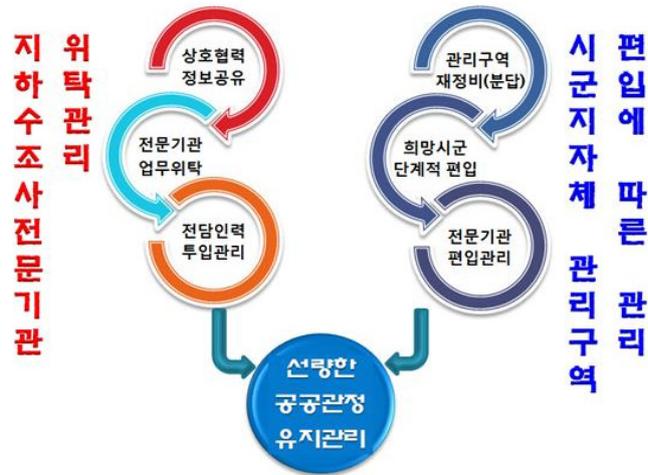


Fig. 10. A systematic rehabilitation plan

Results

- Systematic rehabilitation plans
 - Agricultural public wells against the drought events
 - : Preemptively groundwater well management and improvement coping with the drought events
 - : Development of new agricultural public wells on the repeated drought occurring area
 - : Achievement of integrated agricultural groundwater management using the website
 - Agricultural public wells on uplands
 - : Survey for actual groundwater irrigation and uses using public wells in uplands
 - : Collecting informations of each agricultural public well facility
 - : Periodical rehabilitation on agricultural public wells on uplands and development of integrated management system
 - Agricultural public wells on mountain area
 - : Contribution of the price stabilization of agricultural products by a systematic management of the wells
 - : Providing high-quality groundwater to the farmers lived in the mountain area

한발대비 공공관정	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 187천ha 천수답 대상 (※가뭄에 취약) ◆ 전문기관 위탁관리를 통한 전문인력 투입으로 기후변화 대비 선제적 유지관리, 관정개발
밭기반 공공관정	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 86천ha 관정설치 밭 중 관리소홀지구 대상 ◆ 전문기관 이용실태조사로 농업생산기반 통계 연보 재정비, 공공관정 성능 유지개선
산간·오지 공공관정	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 산간·오지 밭 농산물의 안정적 생산도모 ◆ 전문기관 위탁관리로 물복지 소외지역 서비스 격차 해소, 산간·오지 재해대응체계 강화

Fig. 11. Objectives of systematic rehabilitation plans

	Code No.	D-01
Results	<p>10. Standardized guidelines for rehabilitation on agricultural public wells</p> <p><u>[Methods] Development of standardized guidelines for rehabilitation on agricultural public wells</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Standardized guidelines for rehabilitation including three stages ◦ Conducting legal matters: surrendering legal reports regarding rehabilitation to the local government <p><u>[Results] Standardized guidelines for rehabilitation on agricultural public wells</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Standardized guidelines <ul style="list-style-type: none"> - Rehabilitation methods for the deteriorated wells - Approaching strategies ◦ 1st stage: Evaluation of the well before applying rehabilitation methods <ul style="list-style-type: none"> - Pumping test before lifting submerging pump(evaluation of groundwater quantity) - Analysis of groundwater quality before lifting submerging pump(evaluation of groundwater quality) - Lifting submerging pump - Borehole inspection using submerging TV camera before applying rehabilitation methods - Injecting a disinfectant into the well ◦ 2nd stage: Rehabilitation <ul style="list-style-type: none"> - Applying rehabilitation methods to the wells - Cleaning, diagnosis and flushing pumping facilities - Ruling, measuring, and changing deteriorated parts ◦ 3rd stage: Evaluation of the well after applying rehabilitation methods <ul style="list-style-type: none"> - Borehole inspection using submerging TV camera after applying rehabilitation methods - Placing submerging pumping facilities -Pumping test after placing submerging pump(evaluation for improvement of groundwater quantity) - Analysis of groundwater quality after placing submerging pump(evaluation for improvement of groundwater quality) - Identification of improvement on well efficiencies and disappearance of floating materials ◦ Conducting legal matters for the well with pumping rate more than 150m³/day <ul style="list-style-type: none"> - Surrendering 'rehabilitation implementation plan' to the local government before applying rehabilitation - Receiving 'rehabilitation implementation certificate' from the local government - Surrendering 'rehabilitation completion report' to the local government after applying rehabilitation - Receiving 'rehabilitation completion certificate' from the local government 	

Results

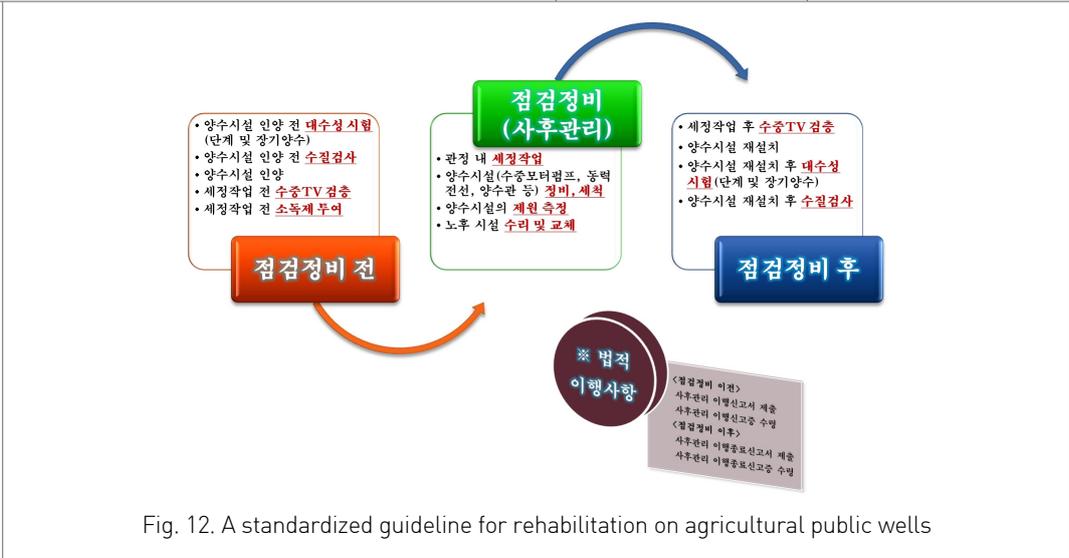


Fig. 12. A standardized guideline for rehabilitation on agricultural public wells

1. Business plans

- Application the developed methods to a total of 27,926 domestic agricultural public wells
 - Public enterprise using funds from Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) and Korea Rural Community Corporation(KRC)
- Overseas enterprise
 - Exporting the developed methods to the low-economic and developing countries in water crises
 - Protecting own rehabilitation techniques against imported ones from overseas

Table 1. Distribution of agricultural public wells in S. Korea (2015.01)

Description	Total number		Management authority			
			Local Governments		Korea Rural Community Corporation	
Total	27,926	100.0%	26,542	95.0%	1,384	5.0%
Metropolitan Cities	2,872	10.3%	2,800	10.0%	72	0.3%
Busan	1,318	4.7%	1,318	4.7%	0	0.0%
Incheon	412	1.5%	394	1.4%	18	0.1%
Daejeon	474	1.7%	461	1.7%	13	0.0%
Daegu	198	0.7%	188	0.7%	10	0.0%
Gwangju	185	0.7%	181	0.6%	4	0.0%
Ulsan	270	1.0%	253	0.9%	17	0.1%
Sejong	15	0.1%	5	0.0%	10	0.0%
Provinces	25,054	89.7%	23,742	85.0%	1,312	4.7%
Gyeonggi	1,747	6.3%	1,569	5.6%	178	0.6%
Gangwon	1,618	5.8%	1,497	5.4%	121	0.4%
Chungbuk	1,548	5.5%	1,422	5.1%	126	0.5%
Chungnam	2,898	10.4%	2,803	10.0%	95	0.3%
Jeonbuk	2,587	9.3%	2,353	8.4%	234	0.8%
Jeonnam	4,466	16.0%	4,303	15.4%	163	0.6%
Gyeongbuk	4,948	17.7%	4,680	16.8%	268	1.0%
Gyeongnam	4,324	15.5%	4,209	15.1%	115	0.4%
Jeju	918	3.3%	906	3.2%	12	0.0%

Expected Contribution

Expected Contribution	<p>2. Distribution of standardized guidelines for rehabilitation</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Distribution of newly developed and standardized guidelines for rehabilitation on agricultural public wells ◦ Development of integrated management system on agricultural public wells ◦ A systematic management and rehabilitation on agricultural public wells by professionally designated surveying institutes for groundwater in Groundwater Act <p>3. Improvement of groundwater irrigation service to the farmers</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Irrigating more plentiful amounts of groundwater to the farmlands by systematic rehabilitation processes ◦ Saving the budget to develop new wells due to securing additional groundwater by applying rehabilitation processes ◦ Securing high-quality, additional groundwater by applying the developed methods to a total of 27,926 domestic agricultural public wells ◦ Providing integrated and customized service for managing rural groundwater well 				
Keywords	Agricultural public wells	Rehabilitation	Standard diagnosis	Additional securing amount of groundwater	Standardized guideline for rehabilitation

CONTENTS

Chapter I. Introduction	49
Section 1. Agricultural groundwater	49
1. Importance of agricultural groundwater	49
2. Increasing demands for agricultural groundwater	49
3. Lack of water resources due to the drought events	51
Section 2. Paradigm shift for agricultural groundwater	53
Section 3. Agricultural public wells	55
1. Distribution of agricultural public wells	55
2. Basic statistics of agricultural public wells	56
Section 4. Objectives and scopes	62
1. Objectives	62
2. Scopes	62
3. Research framework	62
Chapter II. Domestic and international for current technology development status	65
Section 1. On-site rehabilitation techniques	65
1. Mechanical rehabilitation	65
2. Chemical rehabilitation	68
3. Domestic patents	69
Section 2. A year-round management of the wells	72
Chapter III. Identifying the causes for deteriorating yields of agricultural public wells	73
Section 1. Causes for deteriorating yields of agricultural public wells	73
Section 2. Causes for malfunction of agricultural public wells	75
1. Incrustation	76
2. Corrosion	78
Section 3. A statistics for malfunctioned agricultural public wells	82

1. SH well	120
2. HW well	124
3. YP well	128
4. SS well	132
Section 3. Results for groundwater quality analysis	136
1. Groundwater quality for each well	136
2. Relationship between groundwater quantity and quality	138
Section 4. Discussion and conclusion	139

Chapter VII. Quantitative evaluation for improvement effects of performance after mechanical rehabilitation treatments on agricultural public wells 141

Section 1. Materials and methods	143
1. Lifting submerging facilities up and measuring parts of the facilities	143
2. Diagnosis methods	143
3. Pumping test	148
4. Well logging using submerging TV camera	153
Section 2. Results	154
1. Measuring the parts of well facilities	154
2. Pumping tests	155
3. Securing additional groundwater amounts	200
4. Well logging using submerging TV camera	206
Section 3. Discussion and conclusion	221

Chapter VIII. Assessment on improvement of groundwater quality after mechanical rehabilitation treatments on agricultural public wells 223

Section 1. Materials and methods	223
1. Analysis of groundwater quality	223
2. Injection of a disinfectant	224
Section 2. Results	225
1. Improvement of groundwater quality	225
Section 3. Discussion and conclusion	234

Chapter IX. Development of in-situ rehabilitation methods	235
Section 1. In-situ rehabilitation method for groundwater wells considering the effect of well efficiencies	236
1. Introduction	236
2. Contents	236
3. Expectation	238
Section 2. In-situ, interlocking rehabilitation equipment between groundwater level and a skin of borehole	238
1. Introduction	238
2. Contents	239
3. Expectation	240
Chapter X. Systematic rehabilitation plans	241
Section 1. Necessities	241
Section 2. Systematic rehabilitation plans	242
1. Entrusting management by the professionally designated surveying institutes for groundwater in the Groundwater Act	242
2. Enrolling agricultural groundwater wells of local governments to the professionally designated surveying institutes for groundwater in the Groundwater Act	243
Section 3. Detailed contents of systematic rehabilitation plans	245
Section 4. A systematic rehabilitation plan with well types	246
1. Agricultural public wells against the drought events	246
2. Agricultural public wells on uplands	247
3. Agricultural public wells on mountain area	247
Chapter XI. Standardized guidelines for rehabilitation	249
Section 1. Introduction	249
1. Objectives	249
2. Applications	250
Section 2. Standardized rehabilitation processes	251
1. Assessment on the well diagnosis before rehabilitation	252

2. Rehabilitation	256
3. Assessment on the well diagnosis after rehabilitation	259
Section 3. Surrendering rehabilitation implementation plan and completion report	261
Chapter XII. Research outputs	263
Section 1. Research outputs	263
1. Published articles	263
2. Patent applications	263
3. Conference presentations	263
4. Newspaper announces	264
5. Host a special session on KoSSGE conference	265
6. Exhibition of developed techniques	265
Section 2. Evaluation on outputs	265
Chapter XIII. Plan versus implementation of the project	267
Section 1. Plan versus implementation of the project	267
Section 2. Contribution	269
Chapter XIV. Future applications	271
Section 1. Plan for practical use	271
Section 2. Implication for future application	272
Chapter XV. Information on rehabilitation from overseas	273
1. Collection for information on the well	273
2. Tests on equipments for rehabilitation	273
3. Tests on affiliated tools for rehabilitation	273
4. Mechanical flushing step	274
5. Hydrological, mechanical, and chemical flushing step	274
6. Final step for flushing on the well	275
7. Assessment after rehabilitation on the well	276

Chapter XVI. Newly purchased equipment	277
Chapter XVII. Safety management and implementation	279
Chapter XVIII. Selective output	281
Chapter XIX. Conclusion	283
References	287
Self-evaluation reports	291

목 차

제1장 연구개발과제의 개요	49
제1절 농어촌지하수 개요	49
1. 농어촌지하수 중요성	49
2. 농어촌지하수 이용량 증가 추세	49
3. 가뭄 등 기후변화에 따른 수자원 문제	51
제2절 농어촌지하수 패러다임의 변화	53
제3절 농어업용 공공관정	55
1. 농어업용 공공관정 현황	55
2. 농어업용 공공관정 기초 통계	56
제4절 연구목적 및 범위	62
1. 연구목적	62
2. 연구범위	62
3. 연구 추진체계	62
제2장 국내외 기술개발 현황	65
제1절 공공관정 사후관리 방법	65
1. 기계적인 처리방법	65
2. 화학적인 처리방법	68
3. 국내 특허기술 현황	69
제2절 공공관정 상시 유지관리 방법	72
제3장 공공관정 기능저하 원인	73
제1절 공공관정 노후화 원인	73
제2절 공공관정 기능저하 원인	75
1. 충전	76
2. 부식	78
제3절 공공관정 기능저하 현황	82

제4장 공공관정 기능진단 방법	83
제1절 공공관정 설계내역 조사	83
1. 이력 정보	83
2. 대수층 정보	84
3. 우물자재 정보	84
4. 수중모터펌프 및 전기시설 정보	85
5. 개보수 정보	86
제2절 공공관정 기능진단	87
1. 수량 진단 방법	87
2. 수질 진단 방법	92
제3절 공공관정 공내검층 진단	95
1. 물리검층	95
2. 수중TV 검층	98
제5장 공공관정 기능진단 표준화(안)	99
제1절 농어업용 공공관정 사후관리(재생이용) 필요성	100
1. 법적 시행근거	100
2. 사후관리 문제점	101
3. 사후관리 장점	103
제2절 기능진단 필요성	105
제3절 기능진단 표준화(안)	106
1. 기본진단	106
2. 세부진단	110
3. 점검정비(사후관리) 시행	114
4. 유지관리 진단	114
제4절 결론	115
제6장 관정정비 효과의 정량적 평가 기술	117
제1절 단계양수시험 자료의 해석 기술	117
제2절 단계양수시험 현장자료 해석	120

1. SH 관정	120
2. HW 관정	124
3. YP 관정	128
4. SS 관정	132
제3절 지하수 수질분석 결과	136
1. 관정별 수질분석 결과	136
2. 수질 및 수량 상관관계 분석	138
제4절 토의 및 결론	139
제7장 정비공법별 지하수 추가 확보량의 정량적 평가	141
제1절 연구방법	143
1. 양수시설 인양 및 관정제원 확인	143
2. 관정정비 방법	143
3. 대수성시험	148
4. 수중TV 검층	153
제2절 연구결과	154
1. 관정시설 제원측정 결과	154
2. 대수성시험 결과	155
3. 지하수 추가 확보량 평가 결과	200
4. 수중TV 검층 결과	206
제3절 토의 및 결론	221
제8장 정비공법별 지하수 수질 개선의 정량적 평가	223
223제1절 연구방법	223
1. 지하수 수질분석	223
2. 소독제 투입	224
제2절 연구결과	225
1. 지하수 수질 분석 결과	225
제3절 토의 및 결론	234

제9장 상시 관정정비 기술 개발	235
제1절 원위치 지하수 관정 세척 시스템	236
1. 개요	236
2. 구성요소	236
3. 기대효과	238
제2절 원위치 수두 연동형 관정 세척 장치	238
1. 개요	238
2. 구성요소	239
3. 기대효과	240
제10장 공공관정 정비사업 체계화 방안	241
제1절 필요성	241
제2절 정비사업 체계화 방안	242
1. 지하수조사전문기관 위탁관리	242
2. 시·군 지자체 공공관정 편입	243
제3절 업무 내역	245
제4절 이용목적별 체계화	246
1. 한발대비 공공관정	246
2. 발기반 공공관정	247
3. 산간·오지 공공관정	247
제11장 공공관정 정비 표준지침서	249
제1절 개요	249
1. 목적	249
2. 적용 범위	250
제2절 정비 및 평가 방법	251
1. 점검정비 이전 평가 방법	252
2. 점검정비(사후관리)	256
3. 점검정비 이후 평가 방법	259
제3절 사후관리 이행 및 종료신고	261

제12장 연구개발 성과	263
제1절 연구개발 성과	263
1. 논문게재	263
2. 특허출원	263
3. 학술발표	263
4. 언론홍보	264
5. 학술대회 특별세션	265
6. 기술전시	265
제2절 연구목표 대비 성과	265
제13장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	267
제1절 연구개발 목표달성도	267
제2절 대외기여도	269
제14장 연구개발결과의 활용계획	271
제1절 실용화 계획	271
제2절 향후 연구를 위한 제언	272
제15장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	273
1. 관정 정보 수집	273
2. 우물재생 장비 점검	273
3. 기타 장비 점검	273
4. 기계적 세척	274
5. 수리적-기계적-화학적 세척	274
6. 우물의 최종세정	275
7. 사후 조사	276
제16장 연구시설-장비 현황	277
제17장 연구실 안전관리 이행실적	279

제18장 연구개발결과의 대표적 연구실적	281
제19장 종합결론	283
참고문헌	287
자체평가의견서	291

표 목 차

표 1-1. 농어업용 공공관정 소재지 및 관리주체 현황	55
표 1-2. 연도별 공공관정 개발 현황	56
표 1-3. 위치 표고별 공공관정 현황	57
표 1-4. 관정심도별 공공관정 현황	58
표 1-5. 우물 구경별 공공관정 현황	59
표 1-6. 케이싱 구경별 공공관정 현황	59
표 1-7. 펌프설치 심도별 공공관정 현황	60
표 1-8. 양수능력별 공공관정 현황	61
표 2-1. 국내 특허기술 현황	70
표 3-1. 대수층 지질특성별 성능저하 원인 및 유지관리 주기	74
표 3-2. 공공관정 기능저하 원인별 보수현황	82
표 4-1. 수질분석 항목 및 기준	93
표 5-1. 관정 재생이용 법적 시행 근거	100
표 5-2. 관정 사후관리 방법	101
표 5-3. 대수층 형태와 관정 용도에 따른 관정 수명	104
표 5-4. 지하수 이용실태 현장조사표	108
표 5-5. 시설물점검 체크리스트	109
표 5-6. 지하수이용실태조사보고서	111
표 6-1. 대상지역 관정 현황	120
표 6-2. SH 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전)	120
표 6-3. SH 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후)	121
표 6-4. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과	123
표 6-5. HW 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전)	124
표 6-6. HW 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후)	125
표 6-7. HW 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과	127

표 6-8. YP 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전)	128
표 6-9. YP 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후)	129
표 6-10. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과	131
표 6-11. SS 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전)	132
표 6-12. SS 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후)	133
표 6-13. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과	134
표 6-14. 각 관정에 대한 우물소독 및 우물세척 전후의 지하수 수질 분석 결과	136
표 7-1. 시험대상 농어업용 공공관정 현황	141
표 7-2. 단계별 현장시험 순서 및 세부내용	142
표 7-3. 관정별 파워 버블 방법 적용 대상 심도별 사용압력 및 방출 빈도	145
표 7-4. 관정별 고전압 펄스 방전 방법 적용 대상 심도별 방전 간격 및 방전 빈도	146
표 7-5. 대수층 유형에 따른 단공양수시험의 저류계수 보정 회귀공식	152
표 7-6. 시설별 관정 및 양수시설 제원	154
표 7-7. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과	156
표 7-8. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	157
표 7-9. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	157
표 7-10. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	159
표 7-11. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과	160
표 7-12. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	161
표 7-13. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	161
표 7-14. 대서 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	163
표 7-15. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과	164
표 7-16. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	165
표 7-17. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	165
표 7-18. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	166
표 7-19. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과	167
표 7-20. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	168
표 7-21. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	169
표 7-22. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	170

표 7-23. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표	171
표 7-24. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	172
표 7-25. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	172
표 7-26. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표	174
표 7-27. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표	175
표 7-28. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	176
표 7-29. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	176
표 7-30. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표	178
표 7-31. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표	179
표 7-32. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	180
표 7-33. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	180
표 7-34. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표	181
표 7-35. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과	182
표 7-36. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	183
표 7-37. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	184
표 7-38. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표	185
표 7-39. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표	186
표 7-40. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	187
표 7-41. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	188
표 7-42. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표	189
표 7-43. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표	190
표 7-44. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	191
표 7-45. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	192
표 7-46. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표	193
표 7-47. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과	194
표 7-48. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	195
표 7-49. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	196
표 7-50. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표	197
표 7-51. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과	198

표 7-52. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율	199
표 7-53. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교	199
표 7-54. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표	200
표 7-55. 기계적 처리 방법별 관정 제원	201
표 7-56. 관정별 투수량계수 및 저류계수 산출 결과	201
표 7-57. 관정정비 전후 단계양수시험 결과 요약	202
표 7-58. 관정정비 전후의 우물 수두손실계수와 대수층 수두손실계수 평가 결과	204
표 7-59. 관정별 추가 확보 양수량 평가 결과	206
표 8-1. 수질분석 항목 및 수질기준	223
표 8-2. 각 시설별 소독제 투입내역	225
표 8-3. 고안1 및 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과	226
표 8-4. 제요2 및 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과	227
표 8-5. 승두2 및 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과	228
표 8-6. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과	229
표 8-7. 상수6 및 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과	230
표 8-8. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과	231
표 8-9. 등원2 및 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과	233
표 11-1. 농어업용 공공관정 정비의 법적 시행근거	249
표 12-1. 과제 종료 시 연구목표 대비 달성도	265
표 12-2. 향후 연구성과 달성 내역	266
표 13-1. 연구개발 계획 대비 실적표	267
표 14-1. 실용화가 가능한 전국 농어업용 공공관정	271

그림 목 차

그림 1-1. 국내 시설원예농업 면적 증가 추이	50
그림 1-2. 시설원예농업 수막재배에 따른 지하수 수위, 수질 변화	51
그림 1-3. 농어촌지하수 패러다임의 변화	53
그림 1-4. 21세기 농어촌지하수 새로운 패러다임	54
그림 1-5. 위치 표고별 공공관정 현황	57
그림 1-6. 관정심도별 공공관정 현황	58
그림 1-7. 우물 구경별 공공관정 현황	59
그림 1-8. 케이싱 구경별 공공관정 현황	60
그림 1-9. 펌프설치 심도별 공공관정 현황	60
그림 1-10. 펌프설치 심도별 공공관정 현황	61
그림 1-11. 연구개발 추진 체계	63
그림 2-1. 공공관정 재생·이용 방법	65
그림 2-2. 주기적 정비를 통한 관정 성능 유지 방안 개념도	72
그림 3-1. 시간경과에 따른 우물성능 저하 경향 모식도	73
그림 3-2. 시설물 훼손에 의해 노후화 된 공공관정의 재생작업	75
그림 3-3. 충전물질에 의해 노후화 된 공공관정	76
그림 3-4. 바이오필름(예)	77
그림 3-5. 공공관정 내부 시설물의 부식 모식도	78
그림 3-6. 공공관정 내부자재 주요 부식 위치	80
그림 3-7. 공공관정 내부자재 부식 강도	81
그림 4-1. 공공관정 이력정보 확인(예)	84
그림 4-2. 시추주상도와 우물자재 심도정보(예)	85
그림 4-3. 수중모터 및 전기시설(예)	86
그림 4-4. 양수량과 비수위강하량과의 관계(예)	90
그림 4-5. 관정 정비를 통한 양수량 증가분 평가 모식도	91

그림 4-6. 지구물리 검층장비 및 검층	95
그림 4-7. 물리검층 결과	96
그림 4-8. 수중TV 검층	98
그림 5-1. 사후관리 미이행 시 공공관정 가동률 저하 원인	102
그림 5-2. 현행 일반적인 농어업용 공공관정 정비 과정	103
그림 5-3. 공공관정 사후관리에 따른 시설물 기대수명 증가	104
그림 5-4. 농어업용 공공관정 기능진단 표준화(안) 순서	105
그림 6-1. 단계양수시험 자료 해석을 위한 개념적 접근 방법	118
그림 6-2. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과	122
그림 6-3. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 대수층 및 우물손실계수 산출	123
그림 6-4. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 임계양수량 산출 결과	124
그림 6-5. HW 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과	126
그림 6-6. HW 관정에 대한 우물세척 전후의 대수층 및 우물손실계수 산출	127
그림 6-7. HW 관정에 대한 우물세척 전후의 임계양수량 산출 결과	128
그림 6-8. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과	130
그림 6-9. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 대수층 및 우물손실계수 산출	131
그림 6-10. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 임계양수량 산출 결과	132
그림 6-11. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과	134
그림 6-12. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 대수층 및 우물손실계수 산출	135
그림 6-13. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 임계양수량 산출 결과	135
그림 6-14. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 이온분석 결과 비교도	137
그림 6-15. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 이온분석 결과 비교도	137
그림 6-16. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 이온분석 결과 비교도	138
그림 7-1. 파워 버블 장비 및 공내 청소	144
그림 7-2. 고전압 펄스 방전 장비 및 공내 청소	145
그림 7-3. 에어써징 장비 및 공내 청소	147
그림 7-4. 브러쉬 장비 및 공내 청소	147
그림 7-5. 워터제팅 장비 및 공내 청소	148
그림 7-6. 대수층 유형 및 경계면 추정에 따른 표준곡선 매칭 방법	151

그림 7-7. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	155
그림 7-8. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	156
그림 7-9. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	157
그림 7-10. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	158
그림 7-11. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	159
그림 7-12. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	160
그림 7-13. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	161
그림 7-14. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	162
그림 7-15. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	163
그림 7-16. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	164
그림 7-17. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	165
그림 7-18. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	166
그림 7-19. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	167
그림 7-20. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	168
그림 7-21. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	169
그림 7-22. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	169
그림 7-23. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	170
그림 7-24. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	171
그림 7-25. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	172
그림 7-26. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	173
그림 7-27. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	174
그림 7-28. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	175
그림 7-29. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	176
그림 7-30. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	177
그림 7-31. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	178
그림 7-32. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	179
그림 7-33. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	180
그림 7-34. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	181
그림 7-35. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	182

그림 7-36. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	183
그림 7-37. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	184
그림 7-38. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	185
그림 7-39. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	186
그림 7-40. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	187
그림 7-41. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	188
그림 7-42. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	189
그림 7-43. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	190
그림 7-44. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	191
그림 7-45. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	192
그림 7-46. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	193
그림 7-47. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	194
그림 7-48. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	195
그림 7-49. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	196
그림 7-50. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	197
그림 7-51. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량	197
그림 7-52. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량	198
그림 7-53. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율	199
그림 7-54. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과	200
그림 7-55. 관정정비 전후 단계양수시험 결과	203
그림 7-56. 관정정비 전후 양수량 대비 비수위강하량 변화	205
그림 7-57. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	207
그림 7-58. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	209
그림 7-59. 제요2 관정에 대한 관정정비 후 수중TV 검층 결과	210
그림 7-60. 당진 관정에 대한 관정정비 후 수중TV 검층 결과	210
그림 7-61. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	212
그림 7-62. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	213
그림 7-63. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	214
그림 7-64. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	215

그림 7-65. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	217
그림 7-66. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	218
그림 7-67. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	219
그림 7-68. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과	220
그림 9-1. 주기적 정비를 통한 관정 성능 유지 방안 개념도	235
그림 9-2. 원위치 지하수 관정 세척 시스템 구성도	237
그림 9-3. 원위치 지하수 관정 세척 시스템을 이용한 세척방법	238
그림 9-4. 원위치 수두 연동형 관정 세척 장치 구성도	239
그림 9-5. 원위치 수두 연동형 관정 세척 장치를 이용한 세척방법	240
그림 10-1. QR코드 이용 전후의 비교 및 유지관리 사례	243
그림 10-2. 공공관정 정비사업 체계화 방안	244
그림 10-3. 공공관정 정비사업 체계화 업무 세부 내역 및 사업비(안)	245
그림 10-4. 이용목적별 공공관정 정비사업 체계화를 통한 유지관리 세부내역	246
그림 11-1. 농어업용 공공관정 정비 및 평가 방법	251
그림 11-2. 법적 이행사항 흐름도	252
그림 11-3. 대수성 시험 수행 절차	253
그림 11-4. 관정 내부시설 인양 전 시험 절차	254
그림 11-5. 관정 내부시설 인양	255
그림 11-6. 수중TV 검층	255
그림 11-7 소독제 주입	256
그림 11-8. 관정 점검정비	257
그림 11-9. 관정제원 확인	258
그림 11-10. 관정 시설보수 전·후 사진	260
그림 11-11. 사후관리 이행신고서 및 이행종료신고서	261
그림 16-1. 지하수 수질측정기	277
그림 17-1. 안전관리 특별교육 내용 설명	279
그림 17-2. 안전관리 특별교육 질의응답	280

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 농어촌지하수 개요

1. 농어촌지하수 중요성

우리나라 남한의 수자원 총량은 약 1,297억 m^3 /년으로서, 이용되지 않고 유실되는 수자원량(증발산량, 하천을 통해 바다로 유실되는 양 등)을 제외한 총수자원 이용량은 333억 m^3 /년으로 추산된다(국토교통부, 2014). 이 가운데 지하수 이용량은 41억 m^3 /년으로서 총수자원 이용량의 약 12%에 해당한다. 지하수 이용량을 용도별로 살펴보면, 농어업용수(21억 m^3 /년), 생활용수(18억 m^3 /년), 공업용수(1.7억 m^3 /년) 및 기타(0.3억 m^3 /년) 순으로 이용된다(국토교통부, 한국수자원공사, 2014). 지역별로는 농산어촌이 대부분인 시·군 지자체에서 대부분(37.8억 m^3 /년, 93%)의 지하수를 이용하는 반면, 특별·광역시의 지하수 이용량은 2.9억 m^3 /년(7%)에 불과하다.

농어촌지역에서 지하수 이용량이 높은 이유는, 농림수산업이 주를 이루는 국내 시·군 지자체의 산업적인 특성 때문이다. 특히 하천수, 저수지 등과 연계된 용배수로가 발달되지 않은 농어촌 지역에서는, 농어업 용수의 대부분을 지하수에 의존한다. 또한 쌀시장 개방에 따라 쌀을 대체할 새로운 소득 작물의 생산과 국민생활수준 향상에 따른 시설채소의 수요량이 점점 높아짐에 따라, 수질오염에 취약한 저수지·하천수 등을 대체하여 양질의 수질을 보유한 청정 지하수 이용량이 증가 추세에 있다(이병선 등, 2014). 그리고 상수도가 공급된 농가에서도 상수도에 비하여 비용부담이 적은 천부 지하수 관정을 설치하여 이용하는 사례가 많아, 농어촌지역에서 생활용수로서 지하수 이용 및 의존도는 도시지역보다 높은 편이다.

그러나 농어촌지역 일부 지자체에서는 과잉양수로 인해 지하수 이용량이 개발가능량을 상회함에 따라, 수량 부족에 대한 우려가 나타나고 있다(국토교통부, 한국수자원공사, 2014). 수질 측면에서도 우리나라 농어촌지하수 자원은 분뇨, 비료, 농약, 축산폐수, 정화조 누수, 생활하수의 무단방류 등에 의해 오염에 상대적으로 취약한 편이다. 농어촌지하수의 수량·수질 문제는 우리 농어민에게 생활의 기본인 물 문제 초래와 함께 농어업용수 부족을 야기할 수 있으며, 수질 불량에 따라 안전농산물 생산에 악영향을 미치는 중요한 문제가 될 수 있다. 또한 기후변화로 인해 예상하지 못한 가뭄 발생 시 농어촌에서 유일하게 대응할 수 있는 지하수자원의 중요성을 고려할 때, 농어촌지하수의 수량·수질 보전을 위한 노력은 필수적이다.

2. 농어촌지하수 이용량 증가 추세

과거 우리나라 농산어촌에는 주곡 위주의 논농사가 주를 이루었으며, 필요용수로 저수지, 하천수, 빗물 등을 활용하였다. 그러나 최근 농어민 소득향상을 위해 예전의 쌀 위주에서 특용작물, 시설원에 등 고소득 작물 위주로 주력 생산물이 바뀌는 추세이다. 시설원예농업은 지난 20년 동안 3배 이상 지속적으로 증가하였고, 동절기 영농 등으로 농어업인의 소득증대에 기여하고 있다(그림 1-1).

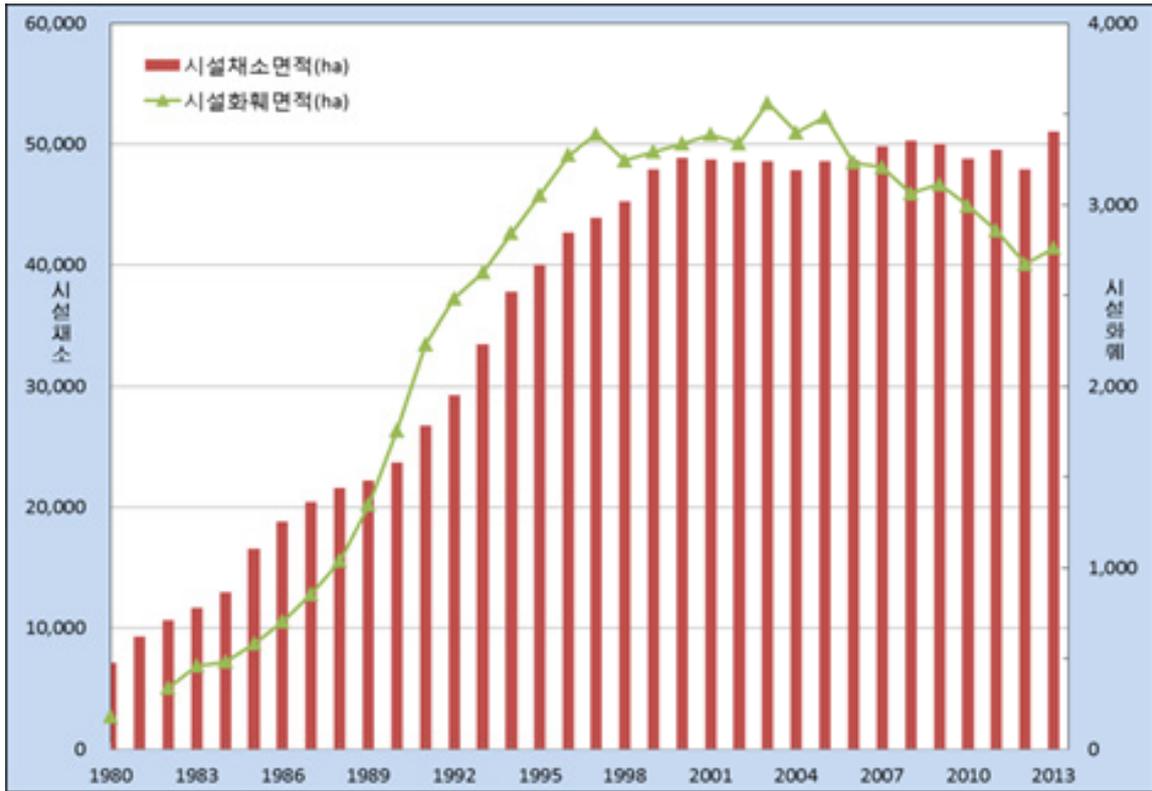


그림 1-1. 국내 시설원예농업 면적 증가 추이(농촌용수이용합리화계획, 2014)

이에 따라 시설원예농업을 위해 상시 수질이 양호한 지하수가 오염에 취약한 저수지·하천수 등을 대체함에 따라, 지하수 이용량 역시 시설수 증가에 비례하여 증가하는 추세이다. 시설원예농업 규모는 2012년 기준 71.1천ha로 과채류(오이, 호박, 참외, 수박, 토마토, 딸기), 엽채류(배추, 시금치, 상추, 양배추), 근채류(무, 당근), 조미채소(고추, 마늘, 파, 양파, 생강) 및 기타채소 등이 재배되고 있다.

그러나 시설원예농업을 위한 무분별한 지하수의 개발·이용은 과잉양수로 이어져 지하수 고갈 우려가 있다(그림 1-2). 특히 수막재배를 이용한 시설원예농업은 동절기 비닐하우스 수막형성을 위해 대량의 지하수를 사용하기 때문에, 지하수 고갈우려를 사전에 차단하기 위해 허가·신고량 이내로 지하수를 이용하여야 한다. 이를 위해, 시설원예농가의 지하수 수요에 부응할 수 있도록, 기설 지하수 공공관정의 최적 관리, 정비 및 재생이 우선적으로 요구되며, 이를 통해 무분별한 지하수의 난개발을 방지하고 적시에 지하수 공급을 달성할 수 있다.

수막재배의 영향

농촌지하수관리 관측망 진주2관측소

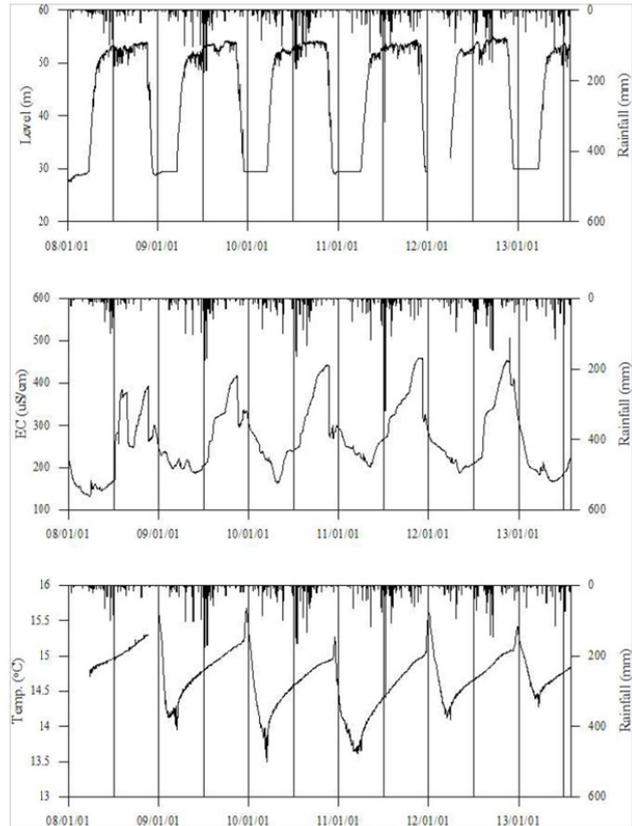


그림 1-2. 시설원예농업 수막재배에 따른 지하수 수위, 수질 변화: 진주2 관측소 사례

3. 가뭄 등 기후변화에 따른 수자원 문제

우리나라의 식량작물은 크게 미곡(쌀), 잡곡, 맥류, 두류, 서류 등으로 구분할 수 있다. 통계청(국가통계포털, www.kosis.kr)에 따르면 2014년 현재 전체 농경지의 약 55%가 쌀 생산을 위한 논으로 활용되는 것으로 나타남에 따라, 우리나라의 경우 여전히 쌀이 주된 식량작물임을 보인다. 우리나라의 논 농업에 의한 쌀 생산은 평야, 산지(600m 이하), 해안 등 경작이 가능한 모든 지역에서 이루어져 왔다. 이처럼 재배면적이 가장 넓고 삶의 근간을 이루는 논 농업은, 쌀을 재배하는 대부분의 농어민 그리고 이를 소비하는 대부분의 국민과 직접 관련되므로 중요한 위치를 차지한다.

논 농업과 가뭄의 관계에 있어서, 봄(5~6월) 가뭄은 벼의 초기생육에 문제를 발생시키기 때문에, 가뭄이 피해를 주는지 여부는 주로 5~6월의 강수량에 의해 결정된다. 즉, 벼의 물수요량이 가장 큰 이앙기(5~6월)에 강수량이 충분하면, 생장기(7~8월)에 강수량이 적다고 할 지라도 가뭄의 피해가 그다지 크지 않다(박기욱 외, 2006). 봄철 이앙지연형 가뭄은 모내기(중부, 4월 중순~5월 하순; 남부, 5월 하순~6월 초순)와 이앙기(중부, 5월 하순~6월 초순; 남부, 6월 초순~6월 중순)에 주로 문제가 발생한다. 10년 빈도 가뭄 발생 시, 남한 논 면적의 66%(520천ha)에 가뭄이 발생되고, 농어업용 저수지 약 17,505개소 중 1,000만^m 이상의 저류량을 보유한 저수지(31개소)만 내한능력이 있다. 그러나 대부분의 저수지(약 97%) 면적이 100만^m 이하이므로, 우리나라의 논 농업은 10년 빈도 가뭄에 취약한 실정이다(한국농어촌공사, 2012). 또한 100년 빈도 가뭄 발생은 강수량이 평년의 약 20% 수준에 해당하며, 농어업용 저수지의 저수율은 30% 미만이 된다.

이러한 농업가뭄에 대응하기 위해 지하수시설물 등 농업기반시설이 잘 구축된 경우에는, 가뭄기간에도 원활한 관개가 이루어짐에 따라 피해를 현저히 줄일 수 있다. 따라서 상시 수자원인 지하수시설물의 건전한 관리를 통한 가뭄, 폭우 등의 기후변화 대비 및 지하수 수리권의 최적 분배가 가능한 경우에는, 가뭄 대비를 포함하여 안전농산물의 안정적 공급이 가능해짐에 따라 농가의 소득 증대에 기여할 수 있을 것이다. 또한 산촌의 지표수 공급 조건불리 지역에서는 수자원의 대부분을 지하수에 의존하기 때문에, 해당 지역의 지하수시설물을 최적 관리하여 수요자(농어민, 주무부서)에게 적시에 지하수를 공급할 수 있는 선진화된 미래농업의 기반 구축이 가능할 것으로 판단된다.

제2절 농어촌지하수 패러다임의 변화

우리나라 지하수 산업은 1960년대 후반 정부 주관의 농어업용수개발사업의 일환으로 시작된 이래, 이용 목적에 따라 농어업용수, 생활용수, 공업용수 등 용도에 따라 다양하게 개발·이용되어 왔다. 농어업용수로 활용되는 농어촌지하수 개발 사업은 「농축산업 및 농산어촌 용수의 안정적 확보 노력의 발전 역사」로 요약할 수 있으며, 1970년대 본격적인 지하수 개발 및 정비 단계, 1980년대 지하수 성숙개발 단계, 1990년대 지하수 보전관리 단계를 거쳐, 21세기에는 지하수자원 재활용단계에 이르고 있다(그림 1-3).

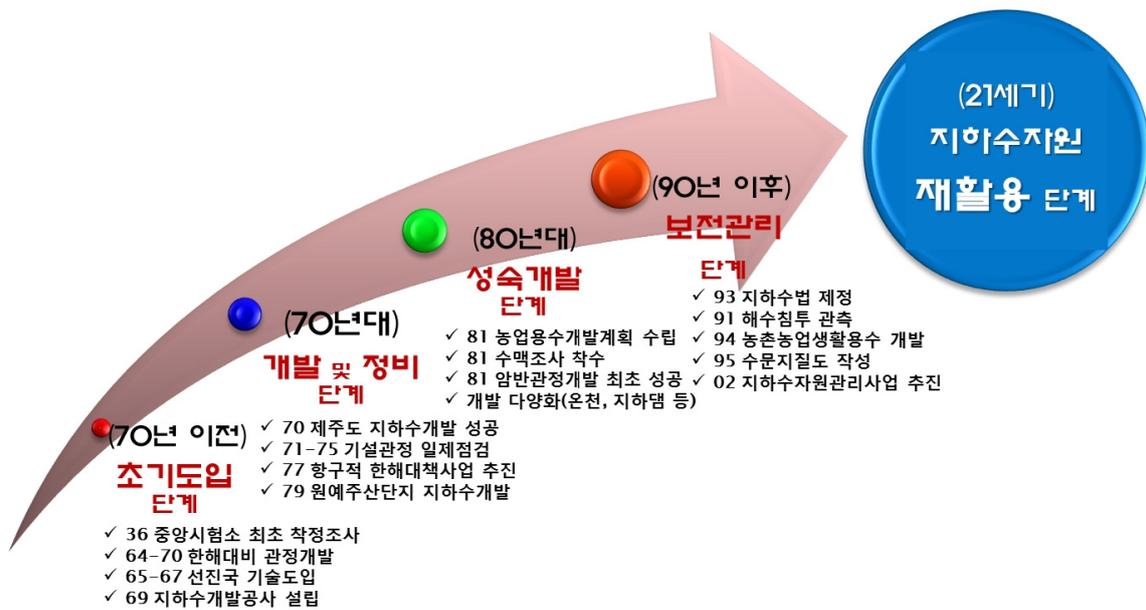


그림 1-3. 농어촌지하수 패러다임의 변화

1970년대 이전은 농어촌지하수 개발에 대한 초기도입 단계로서, 중앙시험소 최초 착정조사 시행(1936년), 한해대비 관정개발(1964~1970년), 해외 선진국 개발이용기술 도입(1965~1967년) 및 지하수개발공사 설립(1969년) 등이 이루어졌다. 이후, 1970년대 본격적인 지하수 개발 및 정비 단계를 맞이하여, 제주도 지하수 개발 성공(1970년), 기설관정 일제점검 조사(1971~1975년), 항구적 한해대책사업 추진(1977년), 그리고 원예주산단지에 대한 지하수 개발(1979년)이 시행되었다. 1980년대에는 지하수 성숙개발 단계로서, 농어업용수개발계획 수립(1981년), 수맥조사 착수(1981년), 암반관정 최초 성공(1981년) 등이 이루어졌으며, 이 시기 이후로 지하수 이용 목적 다양화에 따라 용도별(온천, 지하댐 등) 지하수 개발·이용시설이 설치·운영되기 시작하였다.

그러나 1990년대까지의 고도 경제성장에 따른 개발 위주 정책으로 무분별한 지하수 관정 개발과 폐공 증가, 이에 따른 수질오염문제가 서서히 부각되었다. 따라서 지하수에 대한 체계적인 관리의 필요성 대두와 함께 1993년 지하수법이 제정되었으며, 1994년에는 지하수법 시행령이 발효되었다. 실제로 지하수법 시행령이 발표되기 전까지 지하수관정 개발실적에 대한 체계적인 관리는 농축산부(당시 농림부)에 의한 농어업용 관정 이외에는 전무한 실정이었다. 이처럼 지하수 보전관리 단계에 이르는 1990년대에는, 용수공급 조건불리 지역인 도

서·해안지역 지하수의 체계적인 관리를 위해 해수침투 관측이 시작되었다(1991년). 이후 지하수 이용실태조사를 근거로 체계적인 농촌농업생활용수 개발사업이 시작되었으며(1994년), 수문지질도를 작성을 통해 우리나라 지하수 부존특성을 체계적으로 관리하기 시작하였다(1995년).

농어촌지하수에 대해서도 352개 농어촌 용수구역 지하수에 대한 체계적인 관리체계 구축을 위해, 지하수자원관리사업이 시작되었다(2002년). 지하수자원관리사업은 각 용수구역별 농어업용 지하수 이용실태조사, 지하수 용수수요량, 오염현황 및 예측도, 그리고 가뭄대비 지하수 공급체계도 마련 등 다양한 농어촌지하수 업무를 공유하기 위하여 웹사이트 등을 통한 대농어민 서비스를 제공 중이다.

21세기 농어촌지하수의 패러다임(paradigm)은 저탄소 녹색성장이라는 목표를 달성하기 위하여, 개발시기가 오래되어 노후화 된 시설 지하수 시설물을 수리·보수하여 재활용하고, 이를 통해 신규개발에 따른 비용 및 탄소발생량을 절감하는데 그 목적을 둔다(그림 1-4). 또한 기후변화에 따른 가뭄발생 등 농어업 재해를 대응하기 위해서는 상시 지하수자원 확보가 필요하며, 이를 위해 개발시기가 오래된 공공관정을 재생·재정비하는 등 농산어촌 공공관정 기능회복을 통한 지하수자원 추가 확보에도 목적을 두고 있다.

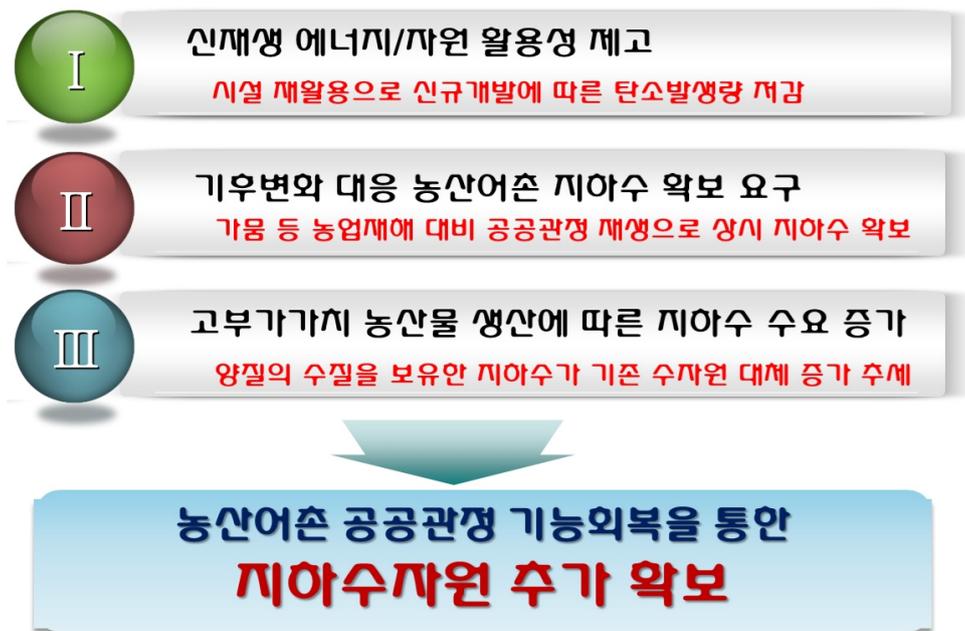


그림 1-4. 21세기 농어촌지하수 새로운 패러다임

제3절 농어업용 공공관정

1. 농어업용 공공관정 현황

우리나라 농어업용 공공관정은 2015년 1월 현재, 전국 17개 광역시·도에 27,926개소가 소재 중이다(표 1-1). 농어촌지역(도)에 약 89.7%(25,054개소), 도시지역(특·광역시)에 약 10.3%(2,800개소)가 소재하고 있어서, 농어촌지역(도)이 도시지역(특·광역시)에 비해 약 9배 많은 농어업용 공공관정이 분포하고 있다(이병선 외, 2016).

농어촌지역의 경우 세부적으로는 경북(4,948개소, 17.7%)에 가장 많이 분포하며, 전남(4,466개소, 16.0%), 경남(4,324개소, 15.5%), 충남(2,898개소, 10.4%), 전북(2,587개소, 9.3%), 경기(1,747개소, 6.3%), 강원(1,618개소, 5.8%), 충북(1,548개소, 5.5%), 제주(918개소, 3.3%) 순으로 소재한다. 특별·광역시의 경우에는 부산(1,318개소, 4.7%)에 가장 많이 소재하고, 대전(474개소, 1.7%), 인천(412개소, 1.5%), 울산(270개소, 1.0%), 대구(198개소, 0.7%), 광주(185개소, 0.7%), 세종(15개소, 0.1%) 순으로 소재한다. 광역시·도 가운데, 대부분의 지역이 도시화 된 서울특별시에만 농어업용 공공관정이 없는 것으로 나타났다.

관리주체별로는 총 27,926개소 농어업용 공공관정 중 시·군 지자체 농업기반 시설물 담당부서에서 26,542개소(95.0%), 한국농어촌공사 지하수시설물 담당부서에서 1,384개소(5.0%)를 관리함에 따라, 한국농어촌공사에 비해 시·군 지자체 담당부서가 약 19배 많은 관정을 관리하는 것으로 파악된다.

시·군 지자체에서 관리 중인 26,542개소 농어업용 공공관정 중 23,742개소(85.0%)가 농어촌지역(도)에 소재하며, 나머지 2,800개소(10.0%)는 도시지역(특·광역시)에 소재한다. 한국농어촌공사에서 관리 중인 1,384개소(5.0%) 공공관정 중 1,312개소(4.7%)가 농어촌지역(도)에 소재하며, 72개소(0.3%)는 도시지역(특·광역시)에 소재한다.

표 1-1. 농어업용 공공관정 소재지 및 관리주체 현황

(단위: 개소)

구분	소계		관리주체			
			시·군 지자체		한국농어촌공사	
총계	27,926	100.0%	26,542	95.0%	1,384	5.0%
특·광역시	2,872	10.3%	2,800	10.0%	72	0.3%
부산	1,318	4.7%	1,318	4.7%	0	0.0%
인천	412	1.5%	394	1.4%	18	0.1%
대전	474	1.7%	461	1.7%	13	0.0%
대구	198	0.7%	188	0.7%	10	0.0%
광주	185	0.7%	181	0.6%	4	0.0%
울산	270	1.0%	253	0.9%	17	0.1%
세종	15	0.1%	5	0.0%	10	0.0%
도	25,054	89.7%	23,742	85.0%	1,312	4.7%
경기	1,747	6.3%	1,569	5.6%	178	0.6%
강원	1,618	5.8%	1,497	5.4%	121	0.4%
충북	1,548	5.5%	1,422	5.1%	126	0.5%
충남	2,898	10.4%	2,803	10.0%	95	0.3%
전북	2,587	9.3%	2,353	8.4%	234	0.8%
전남	4,466	16.0%	4,303	15.4%	163	0.6%
경북	4,948	17.7%	4,680	16.8%	268	1.0%
경남	4,324	15.5%	4,209	15.1%	115	0.4%
제주	918	3.3%	906	3.2%	12	0.0%

2. 농어업용 공공관정 기초 통계

본 연구에서는 기존의 문헌에서 제시된 공공관정 중 현재까지 제원이 명확하게 파악된 총 24,098개소를 대상으로 설치년도, 제원 등에 대한 기초통계 분석을 실시하였다. 설치년도는 전체의 약 84%인 20,136개소가 1984~2013년 기간 중에 설치되었지만, 약 16%인 3,796개소가 약 33년 이상 경과된 1983년 이전에 개발된 것으로 나타났다(표 1-2). 특히 33년 이상 경과된 공공관정 중 산지지역이 많이 분포되어 있어 밭 농업의 비중이 상대적으로 높은 경상북도 지역의 경우 이 중 약 47%인 1,787개소가 집중되어 있는 것으로 나타남에 따라, 지역 특성에 적합한 공공관정 관리 계획 수립이 시급한 것으로 판단된다. 또한 전체적인 분포 비율도 경상북도가 20.8%로 가장 높게 나타남에 따라, 밭 농업지역 면적 및 지형 등 농업환경을 고려한 맞춤형 관리 정책 수립이 필요한 것으로 판단된다.

표 1-2. 연도별 공공관정 개발 현황

행정구역	계	비율	1945년 이전	1946~ 1963	1964~ 1983	1984~ 2013	2014년 이후
부산광역시	105	0.4				105	
대구광역시	184	0.8			13	171	
인천광역시	415	1.7			3	412	
광주광역시	213	0.9	1		41	166	5
대전광역시	244	1.1			1	243	
울산광역시	280	1.2			6	274	
세종특별자치시	301	1.2			132	169	
경기도	2,028	8.4	3		298	1,683	44
강원도	1,464	6.1	2	2	286	1,170	4
충청북도	1,262	5.2			23	1,215	24
충청남도	2,739	11.4			397	2,320	22
전라북도	2,353	9.8			147	2,202	4
전라남도	3,658	15.2			362	3,296	
경상북도	5,005	20.8	9	1	1,787	3,164	44
경상남도	3,823	15.9		1	269	3,546	7
제주특별자치도	24	0.1			12		12
계	24,098	100.0	15	4	3,777	20,136	166

※ 기존문헌에서 제시된 행정구역별 현황 자료 중 설치년도 및 제원이 확인된 관정에 대한 분석 결과임

본 연구에서는 전체 공공관정에 대한 6가지 관정제원(위치 표고, 관정심도, 우물구경, 케이싱 구경, 펌프설치 심도, 양수능력)에 대하여 통계분석을 실시하였다.

가. 위치 표고

관정의 위치 표고(해발고도)가 파악된 관정은 전체의 약 51%인 12,516개소로, 이 중 약 85%인 10,664개소가 해발고도 200m 이하의 고도에 위치한 것으로 분석되었다(표 1-3). 이 결과는 약 15%의 공공관정이 200m 이상의 고지대에 위치한 것으로 분석되며, 특히 약 2%인 268개소가 해발고도 500m 이상에 위치한 것으로 분석되었다(그림 1-5).

표 1-3. 위치 표고별 공공관정 현황

해발고도(m)	관정수(개소)	해발고도(m)	관정수(개소)	해발고도(m)	관정수(개소)
0~50	5,965	351~400	207	701~750	9
51~100	2,170	401~450	112	751~800	6
101~150	1,495	451~500	99	801~850	0
151~200	1,034	501~550	69	851~900	1
201~250	575	551~600	40	901~1,000	2
251~300	403	601~650	19	1,001~1,050	6
301~350	287	651~700	17	계	12,516

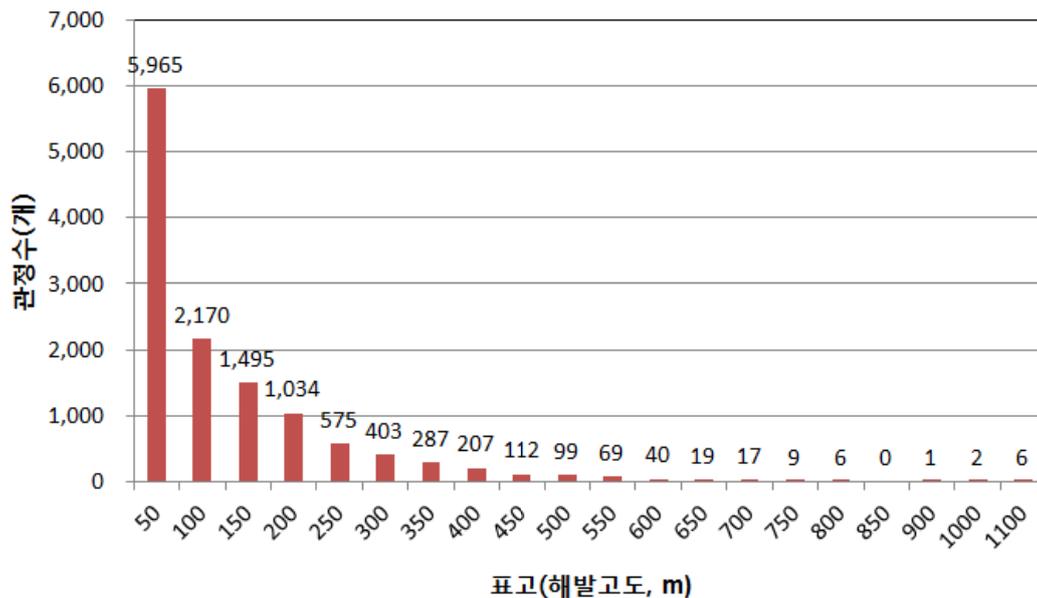


그림 1-5. 위치 표고별 공공관정 현황

나. 관정 심도

관정 심도는 전체의 약 60%인 14,408개소로, 이 중 약 75%인 10,781개소가 일반적인 농어업용 관정의 심도인 100m 이하로 나타났다(표 1-4). 그러나 200m 이상의 심도로 개발된 관정도 약 2%인 261개소로 분석되었다(그림 1-6).

표 1-4. 관정심도별 공공관정 현황

우물심도(m)	관정수(개소)	우물심도(m)	관정수(개소)
0~50	4,907	251~300	59
51~100	5,874	301~350	18
101~150	2,631	351~400	3
151~200	735	401~450	1
201~250	178	451~500	2
		계	14,408

다. 우물 구경

우물 구경은 전체의 약 54%인 12,956개소로, 이 중 약 58%인 7,492개소가 일반적인 농어업용 관정의 우물 구경인 200mm 이하로 나타났다(표 1-5). 그러나 약 1%인 120개소의 경우 300mm 이상의 대구경으로 개발된 것으로 나타났다(그림 1-7).

라. 케이싱 구경

케이싱 구경은 전체의 약 32%인 7,771개소로, 이 중 약 48%인 3,719개소가 일반적인 농어업용 관정의 케이싱 구경인 200mm 이하로 나타났다(표 1-6). 그러나 약 1%인 68개소의 경우 300mm 이상의 케이싱이 설치된 것으로 나타났다(그림 1-8).

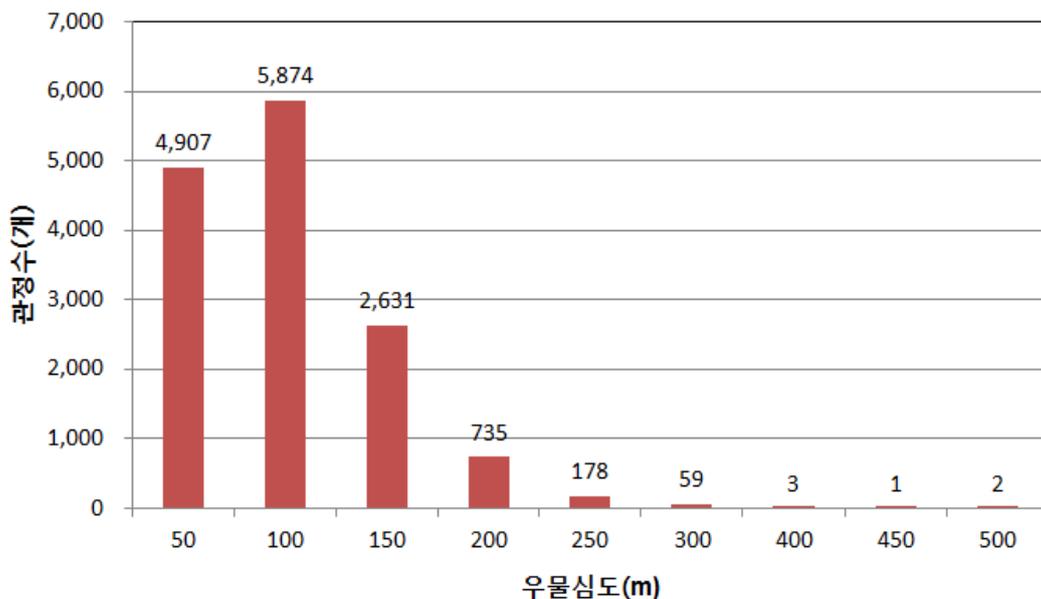


그림 1-6. 관정심도별 공공관정 현황

표 1-5. 우물 구경별 공공관정 현황

우물 구경(m)	관정수(개소)	우물 구경(m)	관정수(개소)
50~100	2,354	301~400	117
101~200	5,138	401~500	3
201~300	5,344	계	12,956

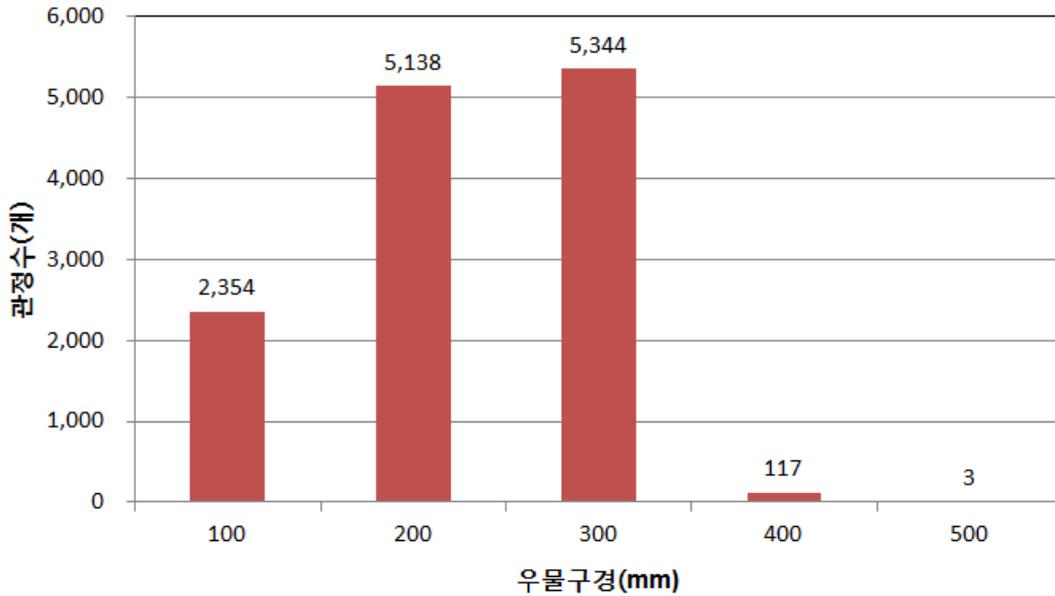


그림 1-7. 우물 구경별 공공관정 현황

표 1-6. 케이싱 구경별 공공관정 현황

케이싱 구경(m)	관정수(개소)	케이싱 구경(m)	관정수(개소)
50~100	69	301~400	65
101~200	3,650	401~500	3
201~300	3,984	계	7,771

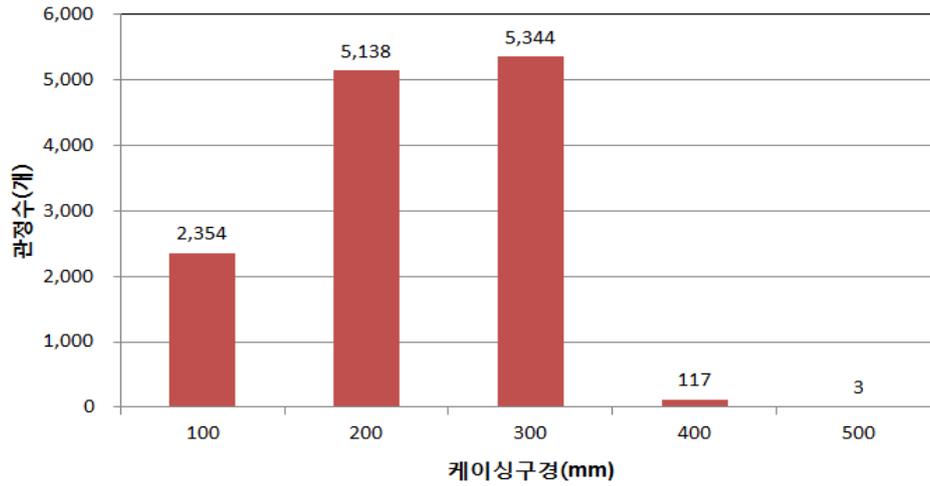


그림 1-8. 케이싱 구경별 공공관정 현황

마. 펌프설치 심도

펌프설치 심도는 전체의 약 26%인 6,248개소로, 이 중 약 92%인 5,764개소가 일반적인 농어업용 관정의 펌프설치 심도인 100m 이하로 나타났다(표 1-7). 그러나 아주 적은 숫자이지만 200m 심도 이상의 관정도 12개소로 나타남에 따라, 양수능력에 따른 수중모터 펌프의 적정 유지, 관리가 필요할 것으로 판단된다(그림 1-9).

표 1-7. 펌프설치 심도별 공공관정 현황

펌프설치 심도(m)	관정수(개소)	펌프설치 심도(m)	관정수(개소)
0~50	2,992	201~250	9
51~100	2,772	251~300	3
101~150	406	계	6,248
151~200	66		

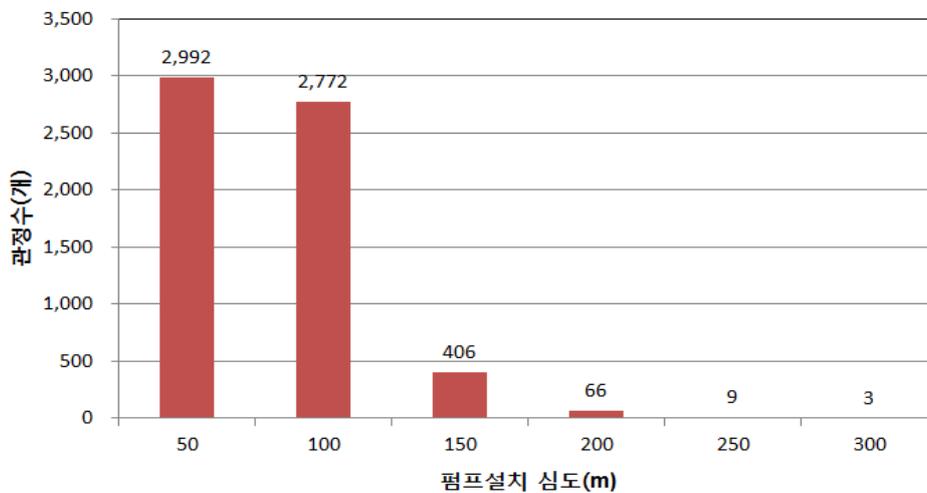


그림 1-9. 펌프설치 심도별 공공관정 현황

바. 양수능력

관정의 양수능력이 파악된 관정은 전체의 약 52%인 12,640개소로, 이 중 약 80%인 10,133개소가 양수량 200 m³/일 이하로 분석되었다(표 1-8). 특히 약 5%인 583개소의 경우에는 400m³/일 이상으로 나타남에 따라, 양수 능력에 적합한 수중모터 펌프의 유지, 관리 지침이 필요할 것으로 분석되었다(그림 1-10).

표 1-8. 양수능력별 공공관정 현황

해발고도(m)	관정수(개소)	해발고도(m)	관정수(개소)
0~100	6,515	601~700	69
101~200	3,618	701~800	115
201~300	1,463	801~900	43
301~400	461	901~1,000	30
401~500	215	1,001~1,500	27
501~600	79	1,501~2,000	5
		계	12,640

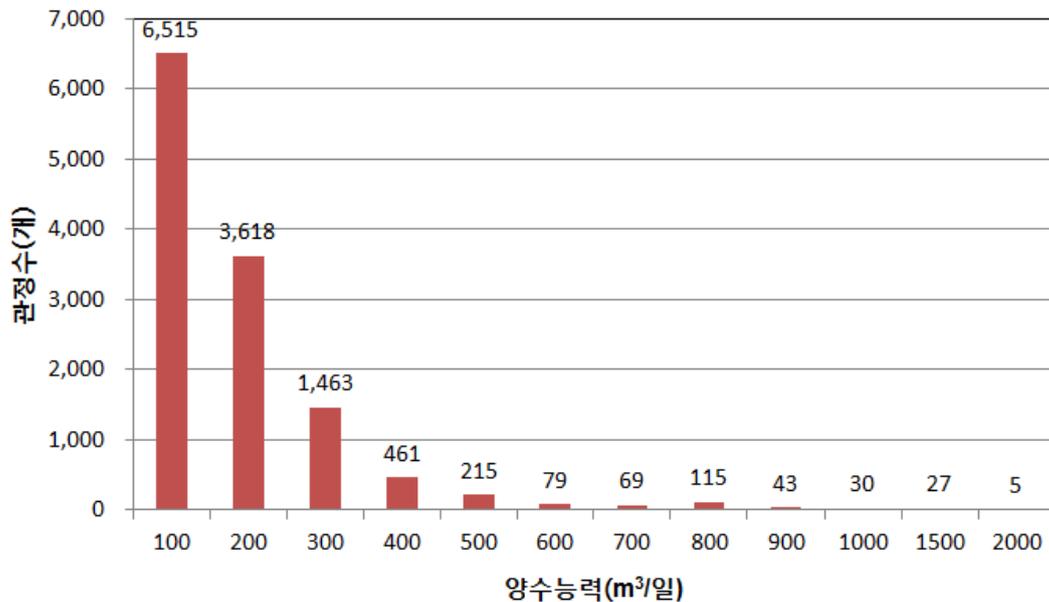


그림 1-10. 펌프설치 심도별 공공관정 현황

제4절 연구목적 및 범위

1. 연구목적

본 연구는 설치시기가 오래된 기설 농어업용 공공관정에 대하여 과학적이고 체계적인 사후관리(점검정비)를 실시하여 공공관정을 재생·이용하고 지하수자원을 추가로 확보하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 기존 사후관리 기술과 본 연구성과를 토대로 관정진단 방법 및 정비기술을 표준화하고, 상시 정비를 위한 세척 기술 개발을 통하여 농어촌지하수 최적관리를 위한 정책수립의 일환으로 표준화 된 지침을 개발하고자 하였다. 따라서 시설원에 등 지하수 용수 수요 증가에 발맞춘 추가 지하수자원을 확보하고, 기후변화 등 기상이변에 따른 농어업용수 부족 발생 시 적시에 지하수를 공급할 수 있는 정책적 기초자료를 제시도록 하였다.

2. 연구범위

본 연구는 기설 농어업용 공공관정에 대한 과학적이고 체계적인 사후관리(점검정비)로 추가 지하수자원을 확보하고자 아래와 같은 연구를 시행하였다.

첫째, 농어업용 공공관정 토출량 감소에 따른 기능저하(우물효율 저하, 수질악화) 현상을 유형별로 분류하였다. 또한 관정정비 작업 이전에 관정의 문제점을 진단할 수 있는 방법 표준화를 통하여 관정정비(우물세척) 전·후의 우물효율 및 수질 개선능 등을 비교·분석하였으며, 각 유형별 관정 기능회복 기술방법을 정립하였다.

둘째, 현장에서 적용되고 있는 여러 관정정비 사례를 수집하고 정리하여, 각 기술의 개선 및 조합(보완)을 통한 농어업용 공공관정 표준지침서를 개발하였다. 이를 위하여 농어업 수리구조물 관리지침 등 타 분야 관리지침 선행 조사와 함께, 관정 유형별로 표준화 된 지침을 수립하였다. 이와 더불어 농어업용 공공관정 진단(수량, 수질, 관정시설물, 전기시설, 보호시설 등) 방법과 함께 용수구역별 체계적인 농어업용 관정정비 방안을 제시하였다.

셋째, 관정정비를 위한 공법별 지하수 추가 확보량의 정량적 평가 기술 개발을 통하여, 현장에서 정비 이후의 추가 지하수 확보량을 정량적으로 평가하였다. 또한 지하수 관정의 상시 정비를 위하여, 원위치 정비기술을 개발하였다.

3. 연구 추진체계

본 연구의 추진체계는 <그림 1-11>과 같다. 지금까지 우리나라에서 시행되고 있는 관정 정비 작업은 해당관정에 대한 간략한 진단(과거에 비해 토출량이 적거나 탁도가 높은 경우 등) 또는 매5년마다 법적의무사항 이행에 따라 진단과정과 무관하게 공내세척(에어써징)이 시행되는 경우가 빈번하다.

따라서 공공관정 정비작업 이전, 관정의 문제점을 정확히 파악할 수 있는 관정 진단 절차 마련이 필수적이다. 이러한 진단결과를 토대로, 각 관정 유형별 수질·수량 저하 원인을 규명하는 방법을 체계화하며, 진단 및 원인 규명을 토대로 각 관정 유형별 기능회복 기술을 선정하고 표준화한다. 또한 시험현장을 선정하여, 세척기술

을 적용하고 공공관정 유형별 기능회복 기술의 타당성을 검토한다. 이후 상기결과를 종합하여 농어업용 관정 정비 표준 지침서 개발 및 실용화(시·군 지자체 및 한국농어촌공사 담당부서에 보급)와 함께 용수구역별로 체계적인 관정정비 방안을 제시토록 한다. 연구과제 추진 과정 중 국내·외 농어촌지하수 전문가를 초청하여 자문회의 등을 통해 각 연구과정 단계에 대한 자문을 통하여 개발된 연구내용에 대해 전문성, 보편성 및 타당성을 확보할 수 있도록 노력하였다.

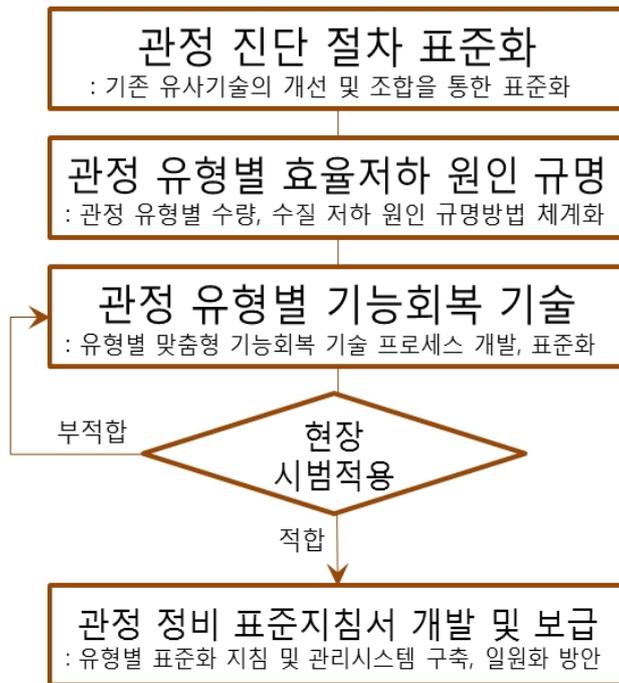


그림 1-11. 연구개발 추진 체계

제2장 국내외 기술개발 현황

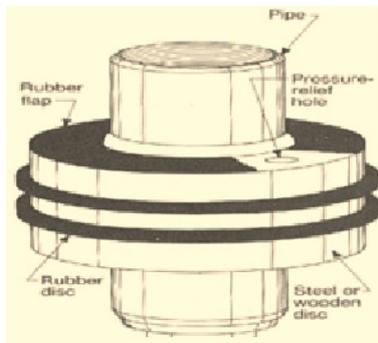
제1절 공공관정 사후관리 방법

1. 기계적인 처리방법

대부분의 기계적인 관정 회복 방법은 충전물질이나 생물학적인 작용에 의한 침전물을 물리적으로 제거하는 일이다. 여기에는 전통적인 방법으로 물리적 교반(physical agitation), 분사(jetting), 써징(surging), 막대피스톤으로 닦아내기(swabbing) 등이 있고, 고압가스 분사(high pressure gas jet), 진동폭약(vibratory explosive)을 결합한 초음파 세정(ultrasonic cleaning)이 있다(그림 2-1).



(a) 브러싱(brushing)



(b) 써지블록(surge blocks)



(c) 분사(jetting)



(d) 발파(brasting)



(e) 화학적 처리



(f) 에어써징(air surging)

그림 2-1. 공공관정 재생·이용(사후관리) 방법

1960년대 Koenig는 실제 관정에서의 기술적인 수행 요소에 대한 연구를 시행하였는데, 그에 의하면 관정 처리 전·후 관정의 비양수량은 압밀 관정(consolidated well)의 경우 141%, 비압밀 관정의 경우 45%의 향상 결과를 제시한 바 있다. 그리고 가장 효과적인 관정 회복 처리방법이 발사(shooting), 진동폭약, 압력 산화처리(pressure acidizing)를 한 후 써징을 하고 마지막으로 수압파쇄(hydraulic fracturing)를 했을 경우라고 보고하였다.

가. 물리적 교반

물리적 교반은 침전물 구조를 파괴하고 화학약품이 주변층 안으로 침투하는데 도움을 줌으로써, 세균집적물(biofouling) 처리와 화학적 침전물을 제거하는데 유용한 방법이다. 이 방법은 고압 산소(compressed air), 써징을 위한 막대피스톤 방법(surge plunger), 고유속 수평 분사(high-velocity explosives)를 이용하거나, 발파(blasting), 진동 폭약, 수압파쇄를 이용하여 수행된다.

나. 분사

양수를 동반한 분사(jetting)는 써징과 함께 가장 널리 쓰이는 물리적 교반 방법에 속한다. 분사할 때 양수를 하는 것은 표면 집적물을 파괴하는데 필요한 효과를 보기 위함이다. 이 경우에는 분사에 의해 주입되는 물의 양보다 양수되는 양이 더 많아야 되고, 양수된 물은 연속적인 공급을 위해 재순환이 필요하다. 일단 양수된 물은 순환되어 다시 주입되기 전에 저장탱크에서 침전물질이나 세립질의 모래는 펌프와 분사 노즐을 보호하기 위해서 제거되어야 한다. 재순환법은 다중인산염과 염소 처리 시에 더욱 효과적이지만, 산을 사용할 때는 재순환을 피해야 한다. 산을 이용한 분사는 우선 산을 관정에 주입한 후, 물을 분사해야 한다. 이 경우 펌프는 100 psi의 압력이면 효과적으로 일을 수행할 수 있다. 적은 양의 세척용액을 사용해야만 하는 경우 분사와 써지 블록, 후방압력 밸브를 함께 사용하면 좋은 효과를 기대할 수 있다. 분사의 장점은 주어진 에너지를 관심영역에 집중함으로써 큰 효율을 제공할 수 있으며, 선택된 일부 스크린에 분사함으로써 에너지를 관정 주변의 충전된 자갈층에 집중할 수 있어 위험부담이 적고 쉽다.

그러나 과도한 고압의 사용은 케이싱이나 스크린에 손상을 입힐 가능성이 있고, 스크린에서 분리된 이물질이 스크린이나 여재층에 재차 편재될 위험이 있다. 그리고 분리된 슬라임의 제거를 위해서 추가적으로 인양 공정이 필요하기도 한 단점이 있다.

다. 공기분사

에어써징은 화학약품이 관정에서 효율적으로 일을 수행하도록 하는데 사용된다. 에어써징은 3가지 방법(써지블록을 이용한 써징(surging with a surge block), 양수 및 후세척(surge pumping and backwashing), 고압공기분사(compressed air surging))이 있다.

양수 및 후세척 방법과 고압공기분사 방법은 써지블록을 이용한 써징 방법의 단점을 보완한 방법이다. 양수 및 후세척 방법은 높은 양수율로 양수한 후 양수를 멈추고 순환탱크에 저장된 물을 초기 수위나 그보다 높은 수위까지 주입하는 방법이다. 이러한 과정을 여러번 반복한다. 고압공기분사는 관정에 압력을 가하여 관정 수위를 하강시켰다가, 갑자기 압력을 제거하여 관정 주위의 물이 관정으로 빠른 속도로 들어오게 하는 방법이다.

써지블록을 이용하는 방법은 우물을 써지블록의 상하운동을 통해서 세정하는 방법으로 피스톤 원리와 같다. 나공에서는 사용하기 어렵고 왕복강도가 커지면 스크린에 손상을 입힐 수 있는 단점이 있다. 또한 분리된 슬라임의 제거를 위해서 추가적으로 인양 공정이 필요한 단점이 있다.

에어써징에 사용하는 공기압의 최대압은 350 psi(25 kg/cm², 수심 250m 심도압)으로 일반적으로 250m 이상의

깊이의 관정에서는 불가능하며, 공압기를 사용하기 때문에 대기오염물질(CO_x, SO_x 등) 발생우려가 있다. 그리고 여재층에 교란을 발생시킴으로서 관정효율을 오히려 감소시킬 가능성도 존재한다. 에어써징의 경우, 관정 내 잔류 슬라임 양의 파악이 불가능하다. 따라서 공내세척(에어써징) 후 내시경 카메라 등을 이용하여 관정 내 잔류 슬라임 양을 파악 후, 추가 에어써징 횟수 및 에어써징 시간에 대하여 결정이 필요하다. 또한 에어써징 시 산소의 분사는 세척 후 호기성 미생물에 의한 관정의 부식 우려가 있기 때문에, 질소기체 등을 분사하여 펄스 에너지 발생함으로써 침전물 및 미생물막을 제거하는 것도 고려할 필요가 있다.

라. 막대피스톤에 의한 세척과 솔로 닦아내기

막대피스톤에 의한 세척(swabbing)은 관정 내에서 왕복 운동하는 막대피스톤에 의해 수행되고, 닦여진 물질은 공기로 부압시켜 제거시킨다. 솔로 닦아내는 방법(brushing)은 특히 표면 미생물막을 제거하는데 사용되는 방법이다. 솔을 이용하여 닦아내는 방법은 편리하고 단순한 장점이 있지만, 관정 내부 자재만 청소되는 단점이 있다. 또한 침전물이 스크린 슬롯에서 제거되기 보다는 재차 편재될 우려가 있으며, 분리된 슬라임의 제거를 위해서 추가적으로 인양 공정이 필요하기도 한 단점이 있다.

마. 초음파 세척(ultrasonic cleaning)

높은 주파수의 음파는 케이싱이나 스크린에 충전된 침전물을 파괴하는데 사용된다. 음파 분사(sonar jetting)는 고속(30,000ft/sec)의 음파를 발생시키는 독점특허권이 부여된 관정 회복법이다.

초음파 세척 방법의 장점은 빠르게 솔(brush)이 닿지 않는 곳까지 작용하며, 선택적으로 제거시킬 수 있다. 그리고 이 방법은 처리 전후로 TV 카메라를 이용하여 즉각적인 기록과 결과를 보여준다. 이 방법은 단단한 충전물을 제거하는데 효과적이다.

바. 발파

발파(shooting(blasting))는 관정 내에 폭약을 터트려 관정을 주변의 절리나 균열과 연결하고, 기존에 연결된 절리나 균열을 확장시키는 방법이다. 다이너마이트, 니트로글리세린, TNT와 같은 다양한 형태의 폭약이 사용된다. 충전현상에 의해 비양수량이 감소한 암반관정에서 화학적인 처리가 효과적이지 못할 때 발파를 사용한다. 진동폭약은 특별한 형태의 발파로 작은 장약들을 빨리 연속적으로 터지게 배열한다. 이 경우 케이싱뿐만 아니라 가능하면 관정 주변 층에 대해서도 진동의 영향을 미치게 한다. 이런 폭발은 연속적인 진동이 입자나 퇴적물을 느슨하게 하는 작용을 통해 관정 주변 층에 대해 써징 작용을 한다. 발파는 전문가를 불러서 실행해야 한다. 폭약을 사용할 때에는 지하수 심도, 지질조건, 관정심도, 증가된 예상 산출량, 주변환경 및 법적규제 사항 등을 고려하여야 한다.

그러나 발파는 폭약을 사용하기 때문에 법적 규제가 많고, 취급을 위해 별도의 전문가가 필요하며, 압력조절이 불가능하여 안정성에 문제가 있을 수 있다. 또한 분리된 슬라임의 제거를 위해서 추가적으로 인양 공정이 필요하기도 한 단점이 있다.

사. 수압파쇄

수압파쇄(hydraulic fracturing)는 1940년대 석유 산업에서 지층의 투수율을 높이기 위하여 개발된 기술로, 지하수 관정의 비양수량을 증가시키는 데에도 사용된다. 이 방법은 저장탱크, 고압펌프, 패커, 고압의 물을 수송하는데 쓰이는 도구 등을 사용한다. 패커를 균열 상부에 설치하고, 층의 균열 경사를 넘기에 충분한 압력 하에서 물을 주입하여 층이 수직 또는 수평으로 갈라지게 하거나 기존의 균열을 세척한다.

아. 기포제거법

기포제거법(bubble cleaning)은 최대 3,000psi(210 kgf/cm², 수심 2,100m 심도압)의 압축된 친환경적인 압축가스를 순간적으로 분사하여 pulse energy를 발생시킴으로써 스크린, 필터팩, 주변 대수층에 형성된 생물막 또는 침전 광물질을 제거하는 방법이다. 친환경 압축가스를 주입하면 2~3초에 1회씩 자동으로 기포가 발생하며, 15,260joule/pulse의 충격과 에너지를 약 1인치의 스크린 구간에 집중하기 때문에 기존의 공법보다 효율적이다. 최초개발시 우물산출능력의 평균 70~120% 정도로 회복 가능하고, 저탄소 녹색공법(CO₂ 무배출)이며, 고심도 관정에 적용가능하다. 그리고 관정 직경 크기에 제한이 없이 적용가능하며, 별도의 전기장치가 필요 없는 장점이 있다.

2. 화학적인 처리방법

화학적인 처리방법을 쓰는 의도는 다양하지만, 목적은 대부분 스크린이나 대수층의 공극에 충전되어 있는 무기기원의 침전물(CaCO₃, MgCO₃, FeCO₃, 산화물, 수산화물, 황화물)을 용해시키는 것이다. 어떤 화학약품은 생물학적 살균제로 작용하여 관정과 대수층에 존재하는 세균을 죽이고, 이들 세균의 젤라틴 성분 잔류물을 용해시킨다. 반면에 점토나 실트같은 미세한 입자들을 분산시켜 이것들이 관정에서 제거될 때까지 부유상태로 존재하게 하는 화학약품도 있다. 화학적인 처리 방법에는 세 종류의 화학약품이 주로 쓰이는데, 여러종류의 산, 생물학적 살균제, 인산염 등이 있다.

화학적인 처리방법은 물리적인 공법과 병행할 경우 청소효율을 증가시킬 수 있는 장점이 있는 반면, 처리기간이 지연과 함께 적정량 이상의 화학약품을 사용할 경우 2차 오염발생의 우려가 있다.

가. 킬레이트제, 습윤제, 부식방지제

수산화아세트산, 시트르산과 같은 약품들은 철과 함께 용해도가 큰 착화합물을 형성한다. 이 약품들은 이후의 화학처리동안에 다시 침전되지 않게 한다. 이런 과정을 킬레이트(chelation, 착화합물형성)이라 한다. 철은 용해도가 높은 2가 이온 상태로 지하수에 존재하게 되는데, 콜로이드 형태로 존재하거나 용해도가 낮은 3가 이온 상태로 침전되기도 하며, 역시 용해도가 낮은 철산화물로 존재하기도 한다. 따라서 착화합물 형성과정은 철 침전물을 제거하는데 반드시 필요한 과정이다.

습윤제(wetting agents)는 물의 표면장력을 감소시키는 작용을 한다. 물에 습윤제를 첨가하여 물분자 사이의 결합을 파괴함으로써, 화학약품의 침투력을 증가시켜 처리 강도를 높여준다.

부식방지제(corrosion inhibitors)는 많은 강산과 함께 사용하여 산의 세척능력을 최적화시킨다. 산은 관정을 막히게 하는 침전물을 용해시키는데, 방지제는 산의 활동이 관정자재에는 미치지 않도록 활동성을 저지하는 역할을 한다.

나. 계면활성제 및 다중인산염 처리

점토, 콜로이드, 철과 같은 금속이온의 입자에 흡착하는 화학약품들이 있다. 이러한 화학약품들은 큰 입자들을 작은 크기의 입자로 파괴시켜 펌프에 의해서 쉽게 제거되게 하는 역할을 한다. 이런 화학약품을 계면활성제라고 한다. 가장 잘 알려진 계면활성제는 세탁소의 세제로 쓰이는 ABS(alkyl benzene sulfonate)인데, 이것은 아주 적은 양으로도 많은 양의 거품을 만들 수 있다.

가장 널리 쓰이는 계면활성제는 투명한 나트륨인산염(다중인산염)인데, 이것은 점토, 실트, 철·망간 산화물, 수산화물, 미세한 입자들을 흩뜨리는데 효과적이다. 보통은 3%의 인산염과 50ppm 이상의 염소를 함께 사용한다. 인산염의 활동성은 표면과 접촉하는 시간에 상관없이 없고, 단지 '접촉'의 성사여부가 중요한 요인이다. 따라서 효과적인 처리를 위해서는 충분한 양의 화학약품이 대수층 깊이 침투해야 한다. 화학약품을 주입하고 격렬하게 교란시킨 후 양수하여 버리는 과정을 3~4회 정도 반복 시행하는 것이 보다 효과적인 결과를 제시해 준다. 분사 기술, 써지 블록, 압축공기 등을 사용하여 교란시키는 것도 효과적인 처리에 도움을 준다.

철세균은 인산염이 생명활동에 아주 중요한 역할을 하기 때문에, 인산염을 염소와 함께 넣지 않는다면 철세균은 오히려 파괴적으로 성장하게 된다. 따라서 인산염은 반드시 염소와 함께 주입해야 한다. 또한 인산염은 세일, 실트, 점토층이 분포하는 관정에서는 사용하지 않는 것이 좋은데, 이 층들은 인산염에 의해서 분해되고 흩트러지기 때문에 구조적으로 공극이 확장됨에 따라 오염원의 침투가 용이하고 처리하기 힘든 희뿌연 물이 생기기 때문이다. 인산염은 사용하기 쉽고, 효과적이며 안전하게 다룰 수 있다. 또한 거품이 생기지 않고, 처리된 용액은 양수에 의해서 제거할 수 있다.

3. 국내 특허기술 현황

국내에 특허로 등록된 관정 재생이용을 위한 세척기술(사후관리 기술)은 현장에서 대부분 실용화된 기술이다. 특허청에 상당수의 특허가 등록되어 있으며, 특허청 웹사이트에서 검색어 '지하수, 관정, 세척, 청소' 등으로 검색하면 여러 특허정보를 얻을 수 있다(표 2-1). 총 29건의 특허를 분류하면, 크게 에어써징 11건(38%), 브러싱 9건(31%), 가스주입 1건(3%), 펄스방전 1건(3%), 기타 7건(22%)으로 구분된다.

대부분 공기분사(에어써징)와 관련된 특허로서, 각각의 특허마다 세부적으로 차이가 있지만, 공기분사(에어써징)이라는 측면에서는 대동소이하다. 솔로 닦아내기(brushing) 기술, 에어써징 기술과 융합된 솔로 닦아내기 기술과 관련된 특허 등이 에어써징 기술 다음으로 많이 등록되었다. 이 기술 역시 세부기술에는 차이가 있으나, 솔로 관정내부 자재표면을 세척하는 것에는 공통점이 있다. 최근 들어 두 종류 기술 외에 발파(폭약), 펄

스, 간이전동장치 등을 이용한 기술 등이 신규특허로 등록되는 추세이다. 그러나 지속적인 유지관리와 관련된 특허는 현재로서는 드문 편이다.

표 2-1. 국내 특허기술 현황

특허명	등록번호	등록일자	권리자
액화탄산가스를 이용한 지하수 심정 수맥청소장치 및 청소방법	1003382570000	2002.05.14	조희남
평면 분사 및 진공 흡입을 통한 지하수공 청소장치 및 그 청소방법	10-0531470	2005.11.21	주식회사지지케이 외 2인
지하수공의 청소방법 및 그 청소장치	10-0536061	2005.12.06	최운동
관정 세척과 슬러지 제거장치 및 공법	1006796680000	2007.01.31	화동산업개발 주식회사
브러시와 세척수에 의한 지하수 심정 청소장치 및 방법	1007144310000	2007.04.26	조희남
지하수공의 청소장치	10-0743392	2007.07.23	(주)티이엔
지하수 관정의 청소장치 및 그 방법	10-0790516	2007.12.24	이순하
지하수공 세척장치	1008351380000	2008.05.29	홍만표
냉각장치와 고정브레이커를 이용한 지하수 심정 청소장치 및 청소방법	1008567840000	2008.08.29	주식회사 지앤지테크놀러지
지하수 심정 공벽에 압착력을 가하는 동조회전 방지기를 이용한 지하수 심정 청소장치 및 청소방법	1008725090000	2008.12.01	주식회사 지앤지테크놀러지
상하구동 기능을 부가한 브러쉬를 이용한 지하수 심정 청소장치 및 청소방법	1009185260000	2009.09.15	주식회사 지앤지테크놀러지
정호 내부 세척장치	1009200790000	2009.09.25	주식회사 팬아시아워터
관정세정장치	1009364600000	2010.01.05	주식회사 에스제이지반기술 외 3인
상하 구동형 브러시를 이용한 지하수 심정 청소장치 및 청소방법	1020100088472	2010.08.09	주식회사 지앤지테크놀러지
상하 구동형 브러쉬를 이용한 지하수 심정 청소장치 및 청소방법	1010480370000	2011.07.04	주식회사 지앤지테크놀러지
상하구동 기능을 부가한 브러쉬를 이용한 지하수 심정 청소장치 및 청소방법	1009185260000	2009.09.15	주식회사 지앤지테크놀러지
정호 내부 세척장치	1009200790000	2009.09.25	주식회사 팬아시아워터
관정세정장치	1009364600000	2010.01.05	주식회사 에스제이지반기술 외3인

표 2-1. 국내 특허기술 현황(계속)

특허명	등록번호	등록일자	권리자
상하 구동형 브러쉬를 이용한 지하수 심정 청소장치 및 청소방법	1010480370000	2011.07.04	주식회사 지앤지테크놀러지
고압을 이용한 충격 발생기	1011113780000	2012.01.26	부산대학교 산학협력단
가능성 친환경 지하수 관정 청소장치	1020120094426 (공개번호)	2012.08.24. (공개일자)	방병훈
간이전동장치를 이용한 관정 청소 장치	1012992070000	2013.08.16	한국원자력연구원
지하수 굴착공 국소배출 및 침전 토사 제거를 위한 장치 및 방법	1013110000000	2013.09.13	주식회사 지앤지테크놀러지
브러쉬를 포함하는 수직집수정 청소장치	1013315760000	2013.11.14	경남한일개발주식회사
브러쉬를 이용한 지하수 심정 청소 장치	1013457220000	2013.12.20	부산대학교 산학협력단
타블렛을 이용한 관정 청소장치	1014011730000	2014.05.22	한국원자력연구원
지하수 관정 청소장치	2004736990000	2014.07.15	주식회사 웅지산업개발
펄스 방전을 이용한 지하수 관정 세척방법	1014354930000	2014.08.22	김철영 외 2인
지하수 관정 청소장치	1015209430000	2015.05.11	조선남

제2절 공공관정 상시 유지관리 방법

농어업용 공공관정 재생이용을 위한 사후관리(점검정비) 기술을 현장에 적용하는 경우, 해당관정의 문제(수량, 수질, 기타) 발생의 원인과 관계없이 대부분 공내세척(에어써징)이 일괄적으로 시행되고 있다. 이러한 공내세척을 시행하는 경우에는 관정 내부의 이물질의 양을 파악하는 것이 불가능하므로, 공내세척 이전에 수중 TV 검층을 통해 관정 내부의 상태를 파악한 후에 에어써징 횟수 및 시간을 결정하는 것이 필요하다. 경우에 따라서는 공내세척 기체의 변경이 필요하다. 즉, 일반적으로 이용되는 산소의 분사는, 공내세척 후 호기성 미생물이 관정 슬러트 등에 증식할 가능성이 크므로, 질소기체 등을 분사하여 펄스 에너지를 발생함으로써 침전물 및 미생물막의 제거 방식이 필요하다.

또한 관정정비 전후의 우물효율 개선에 대한 평가가 필수적이다. 즉, 공내세척 전·후 단계양수 시험을 통한 토출량 변화 확인 및 우물효율 개선능 확인이 필요하다. 만약 해당 공공관정의 주상도 확보가 가능하다면, 심도별 물리검층으로 과거 주상도 투수구간 대비 공내세척 후 투수구간 변화 확인이 필요하다. 그리고 공내세척 후 지하수 농어업용수 수질기준 수질검사로 수질개선능과 수질 적합성에 대한 정량적인 평가가 필요하다.

농업용 공공관정의 경우 단속적인 사용으로 인한 문제점 극복을 통한 지하수 수량·수질의 상시 확보를 위해, 법적 적용주기(5년/회)와 별도로 짧은 주기의 점검정비 실시를 통한 지하수 비양수량을 일정하게 확보할 수 있는 방안이 필요하다. <그림 2-2>는 최소의 비용을 들여서 짧은 주기로 점검정비를 시행할 경우, 장기적으로도 관정 개발당시의 비양수량을 꾸준히 유지할 수 있음을 보여준다. 이를 위해 원위치 관정정비 장치의 개발이 필요하며, 해당 장치를 이용하여 관정개발 당시 비양수량 회복 등에 대한 확인이 필요하다.

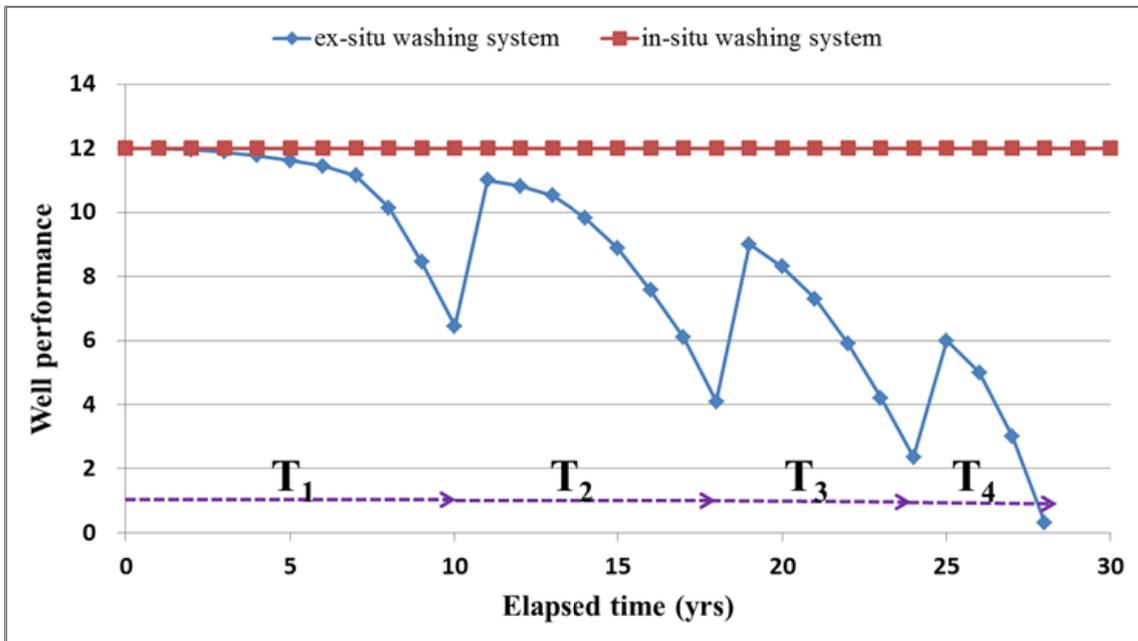


그림 2-2. 주기적 정비를 통한 관정 성능 유지 방안 개념도

제3장 공공관정 기능저하 원인

제1절 공공관정 노후화 원인

지하수 시설물은 여타의 다른 시설물과 마찬가지로 준공 이후로 시간경과에 따라 노후화된다. 외부로부터의 충격에 의한 시설물 파손이 아니더라도, 시간경과에 따라 관정이 노후화되어 토출량 감소 및 수질악화가 나타나는데 이는 자연스러운 현상이다. 노후화 속도 증가와 반비례적으로 관정은 경제성은 감소하며, 결과적으로 경제성이 없는 관정은 최종적으로 불용처리 된다. 관정 노후화의 원인은 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 유지관리 불량에 따른 노후화, 둘째 지하수 이용에 따른 노후화이다.

지하수 관정은 지속적인 관리를 하지 않으면 준공 이후 어느 시점 경과 이후부터 성능이 급격하게 저하되는 데, 일정 시간 간격으로 적절한 처리를 하는 경우 성능을 개선시킬 수 있다(그림 3-1). 그러나 개발 당시의 성능으로 회복되는 것은 어려우며, 다음 단계의 처리에 필요한 시간도 점차 줄어들게 된다($T_1>T_2>T_3>T_4$). 특히 주변 대수층의 종류나 물리적 환경, 지하수의 화학적 특성, 양수 환경, 영향반경 내 오염원의 존재 여부, 관정의 용도 등이 서로 다르기 때문에 급격한 성능 감소 시기도 조금씩 다르게 나타날 수 있다.

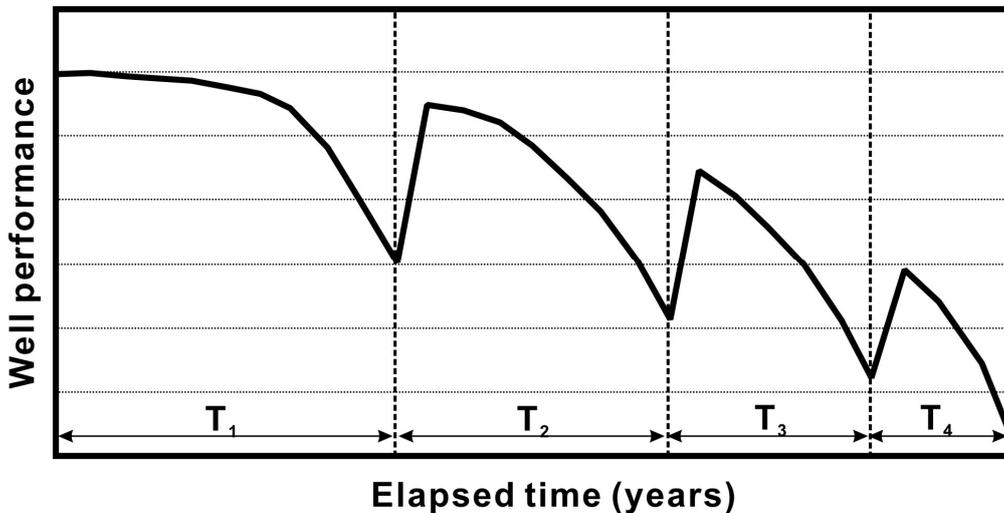


그림 3-1. 시간경과에 따른 우물성능 저하 경향 모식도

이러한 관정의 성능 저하에 따른 적절한 유지/관리가 필요한 주기는 최초 개발당시 양수량 대비 75% 이하로 양수량이 감소되는 시기로, 수중모터펌프 성능 저하와 지하수위 하강 등의 외부적인 문제를 제외하면 미국에서의 설계 및 개발 기준에 따른 생활용 지하수 관정이 위치한 대수층 종류별로 2~15년까지 다양하다(Gass et al., 1980; Driscoll, 1986)(표 3-1).

표 3-1. 대수층 지질특성별 성능저하 원인 및 유지관리 주기(after Gass et al. 1980; Driscoll, 1986)

Aquifer type	Prevalent problems	Maintenance frequency(years)
Alluvial	Particle intrusion/iron precipitation/incrustation of screen/biofouling/casing failure	2~5
Sandstone	Fissure plugging/casing failure/sand intrusion/ corrosion	6~10
Limestone	Fissure plugging by carbonate scale	6~12
Basalt	Fissure and vesicle plugging/scale deposition	6~12
Sandstone/shale	Low initial yield/plugging of aquifer/fissure plugging/casing failure	4~7
Metamorphic	Low initial yield/fissure plugging/mineralization of fissures	12~15
Consolidated sedimentary	Fissure plugging by iron and minerals/low to medium initial yield	6~8
Semiconsolidated/consolidated sedimentary	Clay, silt, sand intrusion/incrustation of screen/fissure plugging of limestone/biofouling/iron precipitation	5~8

유지관리 불량에 따른 노후화는 크게 시설물의 훼손(고의적 또는 자연적 파손)과 설비고장으로 분류할 수 있다. 시설물 훼손은 관정 보호시설(양수장옥, 상부보호함 및 관정내장형 보호함) 및 전기 인입시설의 훼손이 대표적이다. 이 중 관정 보호시설 훼손은 외부로부터 충격(고의적 충격, 자연재해, 식물뿌리 등으로 인한 훼손)에 의한 파손이다. 그러나 파손된 보호시설이 관정 내·외부 설비에 충격을 가하지 않았을 경우에는, 지하수 양수 이용에 크게 문제를 발생하지 않는다. 이에 비해 대부분의 경우 보호시설의 훼손은 전기 인입시설에 문제(전기선 단전, 전력량계 파손, 내부 전기패널 파손)를 유발한다. 이로 인해 수중모터펌프 등 지하수 설비 운영을 불가능하게 되어, 갑작스런 노후화를 유발시킨다. 설비고장에 따른 노후화는 수중모터펌프 고장, 압상파이프 단락 내지 누수, 전기인입시설 누전 및 이에 따른 고장 등 시설물(지하수 설비 및 전기시설) 문제로 토출량이 감소되어 노후화되는 것을 종합한다.

지하수 이용에 따른 노후화는 충전현상 및 부식에 의한 노후화로 구분할 수 있다. 충전현상에 따른 노후화는, 파쇄균열대 및 관정 스크린 주변에 화학적/미생물학적 침전물이 발생하여 스크린을 폐쇄하거나, 부적절한 스크린 설계로 인해 외부 세립자가 우물 내로 흡입되어 스크린을 폐쇄하고, 혹은 흡입된 세립자가 수중모터내로 유입되어 수중모터의 고장을 유발하는 등의 여러 원인에 의해 발생된다. 부식에 의한 노후화는 지하수 관정을 구성하는 케이싱, 소켓, 스트레너 연결부 금속물질, 수중모터 등 관정 내 금속물질이 산화작용에 의해 부식되어 수질을 악화시키고, 부식생성물이 스크린 등에 침전·충전하여 수량을 감소시키는 것이다. 지하수 이용에 따른 노후화는 수량의 감소와 수질의 악화가 대부분 동시에 발생되는데, 이 두 가지는 서로 독립되어 나타나는 것이 아니고, 대부분 서로 맞물려서 발생하여, 효율저하 원인 규명 및 재생작업 설계 시 동시 고려가 필요하다.

제2절 공공관정 기능저하 원인

앞서 설명한 두 가지 노후화 중 시설물 훼손에 의한 노후화는, 단순한 시설물 재생작업(개보수 및 부품설비 교체) 단 한 번만으로 간단하게 해결되어 상대적으로 재생이용이 쉬운 장점이 있다(그림 3-2). 그러나 지하수 이용에 따른 노후화는 단순 시설물 교체로 해결될 수 없고, 물리·화학·생물학적 고려 하에 원인 규명이 필요하며, 이에 따라 해당 원인을 세부적으로 해소할 수 있는 맞춤형 재생작업을 필요로 한다. 이 절에서는 두 가지 노후화 원인 중 과학적인 접근을 필요로 하는 지하수 이용에 따른 노후화 문제(충전현상, 부식)에 집중하여, 관정효율에 저하를 일으키는 원인을 분석하였다.

일반적으로 관정의 효율 저하의 대표적인 원인은 부식과 충전이지만, 지표 오염원으로 인한 질산염 오염이나 과다 양수로 인한 지반침하 등의 부차적인 문제들도 나타난다(Houben and Treskatis, 2007).



(a) 훼손되어 노후화 된 공공관정



(b) 관정 내부자재 인양



(c) 관정 내부자재 청소 및 정비



(d) 관정보호함 설치



(e) 전기시설 및 양수시설 설치

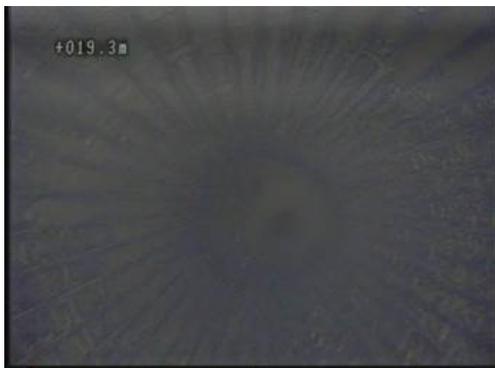


(f) 공공관정 재생완료

그림 3-2. 시설물 훼손에 의해 노후화 된 공공관정의 재생작업

1. 충전

충전(incrustation) 현상은 지하수 이용에 따라 원하지 않는 물질이 지하수와 함께 관정 내로 유입되어 침전되는 것을 의미한다(그림 3-3). 관정 내의 충전은 부식에 의한 이물질, 침전된 광물, 사질 또는 점토질 입자, 미생물 등이 관정 내부나 스크린에 발생하는 경우를 말한다. 일반적으로 발생하는 관정 내의 충전현상은 침전반응과 산화-환원반응으로 구분되는데, 침전반응은 지하수의 농도, 온도, 압력에 의해 영향을 받는다. 그러나 관정 내의 온도와 압력의 변화는 크지 않아 침전반응은 대부분 지하수 내 이온 농도의 영향을 받는데, 생성물의 전위가 반응물의 전위에 비해 낮기 때문에 탄산칼슘(CaCO_3)과 같이 지하수 내에서의 충전현상은 오랜 시간 동안 평형을 이루어 나타난다.



(a) 세립질 모래 충전



(b) 세립질 모래 제거



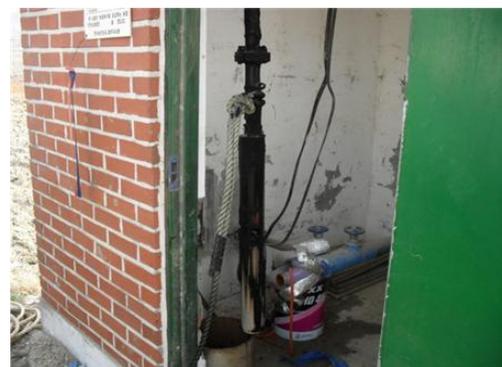
(c) 미생물막 충전



(d) 미생물막 제거



(e) 수중모터 모래(이물질)충전



(e) 수중모터 표면 화학물질 침전

그림 3-3. 충전물질에 의해 노후화 된 공공관정

충전물질에는 부식산물, 침전된 광물, 사질이나 점토질의 입자, 미생물 등이 있다. 충전물질 제거를 통한 관정 재생작업 시, 충전물질의 종류와 양을 정확히 파악하는 것이 적합한 재생방법을 선택하는데 유용(화학적 용식, 물리적 제거, 소독처리 등)하며, 화학약품을 통해 용해시킬 수 있는 물질인 경우 약품의 강도를 결정하는데 도움이 된다.

지하수와 접하고 있는 스크린과 케이싱에 생기는 충전현상은 두 가지 형태(침전반응, 산화-환원반응)의 화학 반응에 의해 발생한다. 침전반응과 산화-환원반응은 같은 지점에서 동시에 발생하기도 한다. 침전반응은 용질의 농도, 온도, 압력에 의해서 좌우된다. 그러나 관정 내의 온도 및 압력의 변화 폭은 매우 작기 때문에 실제로는 용질의 농도가 침전반응을 좌우한다. 침전반응에 있어서 생성물의 화학적 전위가 반응물의 전위보다 낮기 때문에 생성물은 지하수 내에 오랜시간 평형을 이루어 존재하게 된다. 탄산칼슘의 침전이 좋은 예이며, 지하수에 함유되어 있는 중탄산이온이 칼슘이온과 작용하여 탄산 칼슘막을 형성한다(식 3-1).



미생물에 의한 충전현상은, 주로 철 고정 세균(*Crenothrix*, *Gallionella*, *Leptothrix*)에 의해 용존 철이나 망간이 침전되어 관정이 막히게 한다. 이러한 세균은 관정의 자재나 대수층의 공극에 달라붙는다. 또한 용해되어 있는 철을 젤리와 같은 이수(slime)로 변화시켜 관정 내에 심각한 막힘(clogging)현상을 유발한다. 철 고정 세균은 pH 5.5~7.8, 수온 5~25℃ 범위의 어두운 물에서 주로 성장한다(식 3-2).



그리고 세균은 바이오필름(biofilm)을 관정자재 표면에 형성하여 스크린을 막히게 한다. 심각한 수위변동, 오랫동안 양수를 멈추었을 때, 영양분의 공급이 감소했을 때, 오염물질의 유입, 펌프 윤활유의 누수 등이 세균의 바이오필름 분비를 자극하는 요인이다. 그리고 세균 증식에 영향을 주는 수온 등도 관정 막힘에 따른 양수량 감소의 원인이 된다(그림 3-4).



그림 3-4. 바이오필름(예)(출처: www.kpni.co.kr)

2. 부식

관정 내부 시설물에서 일어나는 부식은 수리적 부식(hydraulic corrosion), 화학적 부식(chemical corrosion), 동전기 부식(galvanic corrosion) 및 미생물학적 부식(microbiological corrosion)으로 구분된다(그림 3-5).

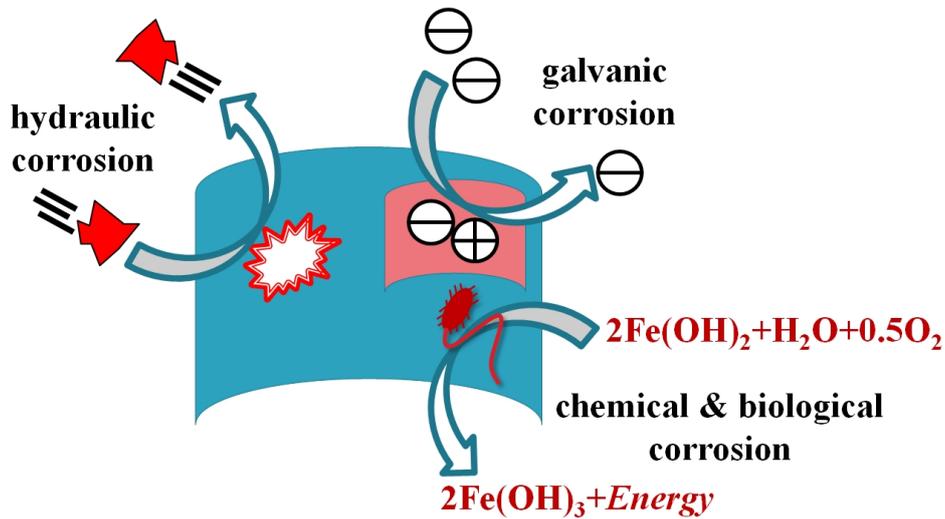


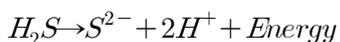
그림 3-5. 공공관정 내부 시설물의 부식 모식도

관정 내의 부식의 원인 중 수리적인 특성에 의해 발생하는 부식은 지하수 내에 포함된 미립자들이 강한 유속에 의해 발생하는 난류로 인해 스크린의 부식이 가속화되어 나타나는데, 이때 지하수에 포함된 여러 작고 마모성이 강한 입자들이 관정 내부 시설물과 충돌 및 마모로 발생된다. 일반적으로 유속이 6m/분을 초과하게 되면, 난류와 공동현상(cavitation)이 일어나서 수리적 부식을 가속화시키게 된다.

화학적 부식은 지하수에 의해 금속이 산화되는 경우, 또는 수화작용(hydration)에 의해 스크린의 부식 또는 충전 현상을 발생시키는 경우이다. 화학적 부식은 지하수와 금속성 자재사이에 일어나는 용해, 탄산화 작용, 가수분해 작용, 산화환원 작용, 수화작용 같은 화학반응에 의해서 발생한다. 이때 수리적 부식은 화학적 부식을 가속화시키는 것으로 알려져 있다.

동전기 부식은 전기적으로 접촉하고 있는 다른 종류의 두 금속을 전해질에 담갔을 때 일어난다. 상대적으로 활동적인 금속은 산화되어 부식작용이 일어나고, 상대적으로 비활동적인 다른 금속에는 환원되어 침전작용이 일어난다. 부식율은 두 금속의 화학적 활동도(전위)의 차이와 전해질의 강도에 비례한다.

미생물학적 부식은 미생물의 촉매작용에 의해 발생되며 화학적 부식과 함께 고려되어야 한다. 황 환원 세균(*Desulphovibrio*, *Thiobacillus*)은 무산소 환경에서 부식을 진행시킨다. 황 환원 세균은 수소를 이용하여 지하수에 용존된 황산이온으로부터 산소를 취하는데, 이 과정에서 좀 더 부식성이 강한 황화이온을 발생시킨다(식 3-3).



[식 3-3]

황 환원 과정에서 쓰이는 수소는 스크린이나 케이싱 같은 우물 자재로부터 유래된 것이기 때문에 화학적 부식과 동전기 부식이 동시에 일어난다. 이 외에 토양에 존재하는 세균(*Pseudomonas, Flavobacter, Aerobacter*)도 관정을 막히게 하는 주된 요인이 된다. 유산소 세균은 산소를 모으기 위해 우물 자재의 편극화 된 동전기 양 (+)극으로부터 나온 수소를 이용하기 때문에 부식작용을 심화시킨다.

아래 (식 3-4)와 (식 3-5)는 미생물의 촉매작용에 의한 철의 부식 반응식을 나타낸다.



부식작용에 관여하는 세균은 일반적으로 철세균(*Grenothrix polyspore*), 황환원세균(*Desulfovibrio desulfuricans*), 황세균(*Beggiatoa alba*)이 대표적이다. 메탄을 생성하는 미생물이나 질산을 소비하는 세균도 부식작용에 관여하지만 상기한 세균에 비해 그 영향이 작다.

가. 관정 부식작용에 영향을 미치는 요인

금속의 부식은 전자를 공여하는 산화작용과 전자를 수용하는 환원작용이 동시에 수반되어야만 발생한다. 그러나 전자는 금속체 내부를 자유롭게 이동하기 때문에, 비록 산화-환원작용이 동일 지점에서 발생되지 않은 경우에도 금속의 부식작용은 발생할 수 있다. 산화-환원 이후 부식의 정도는, 금속의 용해도, 지하수 조성성분, 금속의 용해속도에 영향을 미치는 지하수의 물리적, 화학적 조건에 따라 결정된다. 부식작용은 전자의 이동과 밀접한 관련이 있기 때문에, 용해된 이온의 농도가 높을수록 쉽고 빠르게 일어난다.

지하수 관정 내에서 케이싱, 스트레나 소켓, 수중모터펌프 등 금속물질은 부식의 대상이 되며, 용존 산소, 염소 및 황산염이 전자수용체로 작용하여 부식을 일으킨다. 관정부식에 있어서 가장 중요한 것은 용존산소의 양이다. 용존산소는 전자수용체 역할을 하며, 용존산소의 양이 증가하면 금속표면으로 이동하는 산소도 증가한다. 용존산소량은 대기압에 비례하고, 지하수의 온도에 반비례하는데, 용존산소량이 20~25mg/L까지 증가할 때는 부식율도 같이 증가하지만, 이보다 많은 용존 산소가 존재하면 반대로 부식율은 감소한다. 특히 같은 금속 내에서도 위치에 따라 구조적인 불균질성을 갖고 있기 때문에, 지하수 우물자재의 접촉부, 용접부, touch-cut slot 등은 다른 곳보다 2~3배의 빠른 부식율을 보인다(그림 3-6). 즉 같은 금속의 다른 표면부위에 존재하는 용존산소의 농도차는 차별 산소부식을 일으키며, 높은 산소의 농도를 감소시키는 방향으로 일어난다. 우물자재 용접부의 금속과 용접부 이외 부분의 구조적인 차이는 용접부를 서서히 식힘으로써 완화시킬 수 있어서, 불균질성에 의한 부식을 줄일 수 있다.

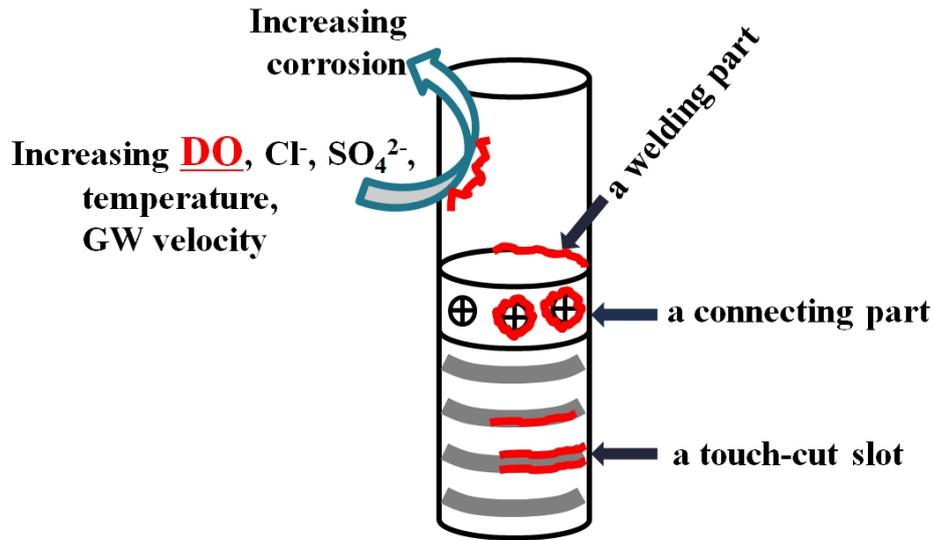


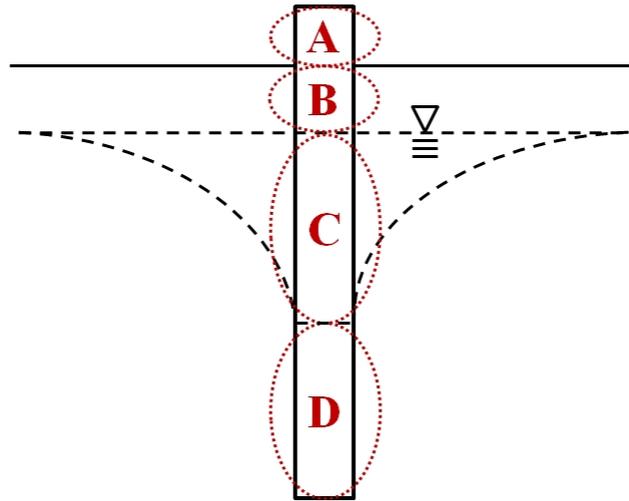
그림 3-6. 공공관정 내부자재 주요 부식 위치

부식에 있어서 또 하나 중요한 요소는 지하수에 존재하는 특정이온에 따라 부식정도가 달라지는 것이다. 염소이온과 황산염이온은 부식을 촉진시키지만, 칼슘, 중탄산 이온은 효과적인 표면막을 형성하기 때문에 부식 작용을 지연시킨다. 따라서 부식과 관련된 용존 이온특성은 경도, 알칼리도, 전기전도도 등으로 간접적으로 확인할 수 있다.

일반적인 화학반응과 같이 부식율은 온도에 비례하는데, 철의 경우에는 온도가 10℃ 증가함에 따라 부식율이 75% 증가한다. 동시에 온도가 증가함에 따라 산소의 용해도는 감소하고, 탄산칼슘의 용해도도 감소하게 되어, 부식율을 저하시킨다. 마지막으로 지하수의 유속과 온도는 부식에 큰 영향을 준다. 지하수의 유속은 금속과 지하수의 성분에 영향을 미치며, 유속이 빠를수록 부식율은 증가한다. 일반적으로 관정의 스크린을 통과하는 지하수의 유속이 0.3m/sec 이하이면 매우 낮은 부식율을 나타내지만, 유속이 0.3~1.5m/sec이면 산소의 농도변화는 새로운 환경을 조성하기 때문에 보다 높은 부식율을 보여주며, 유속이 동관에서 1.2m/sec, 강관에서 3.0m/sec이면 용해된 이온과 부식산화물은 금속표면을 떠나게 된다.

나. 관정부식의 일반적인 특징

관정에서 부식이 발생하는 구간은 일반적으로 4개 구간(외부노출구간, 지하수위(또는 정수두위) 상부구간, 양수위와 지하수위(또는 정수두위) 사이의 구간, 양수위 하부구간)으로 구분된다(Roscoe Moss Company, 1990). 이 중 부식작용은 세 번째 구간인 양수위와 정수두위 사이의 구간에서 매우 심하게 일어나고, 그 다음으로는 네 번째 구간인 양수지점 하부구간에서 심하게 발생한다(그림 3-7).



- A : a part above ground surface
- B : a part between ground surface and natural groundwater level
- C : a part between natural- and pumped-groundwater level
- D : a part below pumped groundwater level

그림 3-7. 공공관정 내부자재 부식 강도(C > D > B > A)

첫 번째 구간인 대기 중에 노출된 지하수 관정의 외부노출구간의 부식은 케이싱 표면에 응축된 기체 때문이며 산소와 약간의 이산화탄소가 응축된 수막을 뚫고 쉽게 금속표면까지 침투하여 부식을 발생시킨다. 이 구간의 수증기는 염도가 적고 산소가 풍부하기 때문에 균질한 부식형태를 보이며 두 번째~네번째 구간에 비하면 상대적으로 약한 부식을 나타낸다.

두 번째 구간인 지하수위(또는 정수두위) 상부구간은 차별적인 산소 부식 또는 전기적 부식이 주요 요인이다. 산소부식은 시멘트의 사용으로 감소시킬 수 있으며, 전기적 부식은 절연코팅 등으로 방지할 수 있다.

세 번째 구간인 지하수위(또는 정수두위)와 양수위 사이의 구간은 가장 부식이 심하게 발생하며, 부식의 원인은 양수에 따른 금속표면의 산소이온 농도차가 원인인 것으로 해석된다. 양수가 시작되면 지하수위는 안정 수위까지 강하되면서 케이싱 표면은 젖은 상태로 남게 된다. 이 때 공기 중의 산소는 젖은 케이싱의 금속표면까지 침투하게 되며, 이는 양수위 상부의 산소가 많은 부분과 양수위 하부의 산소가 적은 부분사이에 산소농도의 차이를 형성하게 된다. 양수 중단 후 수위는 다시 상승하면서 반복적인 습윤-건조, 고-저 산소농도에 의해서 관정의 표면을 부식시킨다. 즉, 반복적인 습윤-건조 과정이 부식을 가속시키는 역할을 하고 있으며, 더불어 증발에 의한 높은 총용존고형물도 심한 부식을 일으키는데 기여한다.

마지막으로, 네 번째 구간인 항상 지하수 속에 잠겨있는 양수위 하부구간의 부식은 낮은 산소의 용해도, 높은 이산화탄소와 황화수소의 농도, 금속환원 미생물의 성장 등 여러 가지 복합적인 과정으로 설명되고 있다.

제3절 공공관정 기능저하 현황

본 연구에서는 전국의 농어업용 공공관정 중 관정정비 이력이 체계적으로 정리된 한국농어촌공사 관리의 1,384개소 중 현재 이용 중인 1,380개소를 대상으로, 2001년 이후 실시된 기능저하 원인별 보수 현황을 분석하였다(표 3-2). 보수현황은 크게 전기시설 수리, 수중모터펌프 교체, 파이프 교체 및 정비내역 없음으로 분류하였으며, 세가지 보수 대상 관정은 전체의 15.6%로 이러한 문제점들의 발생 원인은 각각 유지관리 불량, 광물질 충전 및 미생물 충전으로 밝혀졌다. 이러한 원인으로부터 발생된 문제점은 각각 관정 작동불능, 양수량 감소 및 양수량 감소/수질 불량으로 나타났으며, 세 가지 원인(15.6%)이 전체에서 차지하는 비율은 각각 1.5%, 8.2% 및 5.9%로 나타났다.

표 3-2. 공공관정 기능저하 원인별 보수현황(한국농어촌공사 관리 1,380개소 대상)

보수현황	기능저하 원인	문제점	개소	비율(%)
전기시설	유지관리 불량	관정작동 불능	21	1.5
수중모터펌프	광물질 충전	양수량 감소	113	8.2
파이프	미생물 충전	양수량 감소/수질불량	82	5.9
내역없음			1,164	84.4
계			1,380	100.0

제4장 공공관정 기능진단 방법

지하수 관정 재생·이용을 위한 사후관리 작업 이전에 가장 우선적으로 파악해야 하는 점은, 해당 관정이 현재 어떠한 문제를 가지고 있는지를 진단하는 것이다. 즉, 수량이 문제인지, 수질이 문제인지, 아니면 수량 및 수질이 공통적으로 문제인지를 우선 파악하여야 하고, 각각의 원인을 파악하여 최적 사후관리 방안을 선정해야 한다. 다시 말하면, 정확한 진단을 통해 적절한 처리방법을 선택할 수 있고, 이를 통해 가장 경제적이고 효과적인 관정기능 회복을 도모할 수 있다. 아래 공공관정 기능진단을 위한 기본적인 방법에 대하여 설명하였다.

제1절 공공관정 설계내역 조사

관정개발 당시의 자료는 관정의 문제를 진단하는데 있어서, 관정이 개발당시부터 가지고 있었던 문제의 종류, 문제 발단 시점, 적절한 기능회복 방법을 결정하는데 가장 기초적인 정보를 제공한다. 이러한 자료를 근거로 적절한 관리방법과 복원방법을 사용한다면 불필요한 노력을 줄일 수 있다.

관정을 개발하는 기관에서는 준공일, 완공일, 착정방법, 관정의 구조, 사용된 자재, 관정의 깊이 케이싱 구간, 스크린 구간, 스크린 간격, 펌프와 관련된 정보, 초기 지하수 수위 등 관정과 관련된 모든 사항과, 개발과정에서 발생하는 모든 문제를 기록하여 시공업체와 관정 소유자가 보관해야 한다.

1. 이력 정보

- 각종 인허가자료: 지하수개발이용허가(신고)증, 지하수연장허가증, 사후관리 이행종료 신고증, 수질검사 신고증 등(그림 4-1)
- 지리 정보: 공공관정 위치, 지표고도 등
- 설치자 정보: 착정업체 이름과 주소, 펌프설치자의 이름과 주소
- 관정을 준공한 날짜와 완공(펌프가 설치된)한 날짜
- 하나 이상의 관정이 위치한 경우: 각 관정의 식별 번호
- 각종 인허가자료 기재내역과 관정입간판 정보

[별지 제 3호 서식] (앞쪽)
 허가번호 제1885호

지하수개발 이용허가(변경허가, 유효기간연장허가)서

신 고 인	상호 또는 명칭	한국농어촌공사			
인	법인의 대표자 (개인의 경우 설명)		법인등록번호 (주민등록번호)	135271-0000271	
	주제사무소의 소재지 (개인의 경우 주소)	경기도 파주시 금촌동 778번지 (전화: 031-941-2176)			
허 가	위 치	경기도 파주시 조리읍 등원리 116번지			
	좌표(경도, 위도)	126° 37' 44"	48° 26' 48"	용 도	중위용 유용 비용 여유
내 용	굴착깊이	70 m		굴착지름	250 mm
	취수계획량	162 m ³ /일			
	동력장치	3HP	토출관안쪽지름	40 mm	
	필드설치깊이	48 m	양수능력	168m ³ /일	
	허가유효기간	2009-10-15 부터 2014-10-16 까지			
조 건					

「지하수법」 제7조·제7조의3제2항·제8조제2항 단서·제13조제1항제1호 및 동법 시행령 제8조·제11조의 규정에 의하여 위와 같이 지하수 개발·이용을 허가(변경허가, 유효기간연장허가) 합니다.

2009년 11월 20일

파주시장 

210mm × 297mm (일반용지 60g/㎡ (제한용지))

(a) 지하수개발·이용허가서

[별지 제25호서식]
 신고번호 제 2002-6 호

사후관리 이행종료신고증

신 고 인	상호 또는 명칭	종업기반공사강화지사	
인	법인의 대표자 (개인의 경우 설명)	법인등록번호 (주민등록번호)	135271-0000021
	주된사무소의 소재지 (개인의 경우 주소)	인천광역시 강화군 강화읍 강화대로215번길 20 (전화: 932-2758)	
사 후 관 리 이 행 내 용	허가(신고)번호	2200200013	
	장 소	하침 이강 1138번지	
	검사 장비	제어밸브, 수중모터인양설치, 수중모터 피이프 수위측정 관설치, 수위측정, 양수시험, 내무관발전디코트, 내외부도석 무정도석	

지하수법 제9조의5제2항 후단에 따라 위와 같이 사후관리 이행 종료를 신고하였으므로 이 증을 발급합니다.

2012년 11월 09일

강화군수 

210mm × 297mm (일반용지 60g/㎡ (제한용지))

(b) 사후관리 이행종료신고증

그림 4-1. 공공관정 이력정보 확인(예)

2. 대수층 정보

- 시추주상도(각 암석의 깊이, 두께, 성분 또는 토양의 종류(물리적 특성과 색))
- 샘플이나 지구물리 검증 자료로부터 편집한 관정 로깅 자료(주요한 구조적 특징을 보여주는 도표 포함)
- 균열, 지하의 개구간의 심도와 두께
- 물이 처음 나온 심도
- 겹보기 물의 화학적 성질
- 착정 도중에 발생하는 수위의 변화
- 착정이 끝났을 때의 정수위
- 관정 개발 후의 정수위
- 양수 시 수위 강하, 강하 폭, 양수 시간
- 특정한 양수량, 양수시간에서의 양수 수위, 날짜
- 개발 후의 비양수량 및 개발 종료 후 수위

3. 우물자재 정보

- 착정방법, 특히 케이싱의 종류와 치수, 깊이(그림 4-2)
- 총 관정 심도, 스크린의 길이, 지름, 슬롯 간격

- 스크린 제작법, 모델, 성분, 슬롯의 간격과 길이, 스크린의 설치 깊이와 간격
- 스크린 설치 방법
- 충전 자갈의 치수와 성분
- 충전 자갈의 설치 방법, 시멘트 그라우트의 깊이와 범위
- 관정개발 방법과 시행 날짜

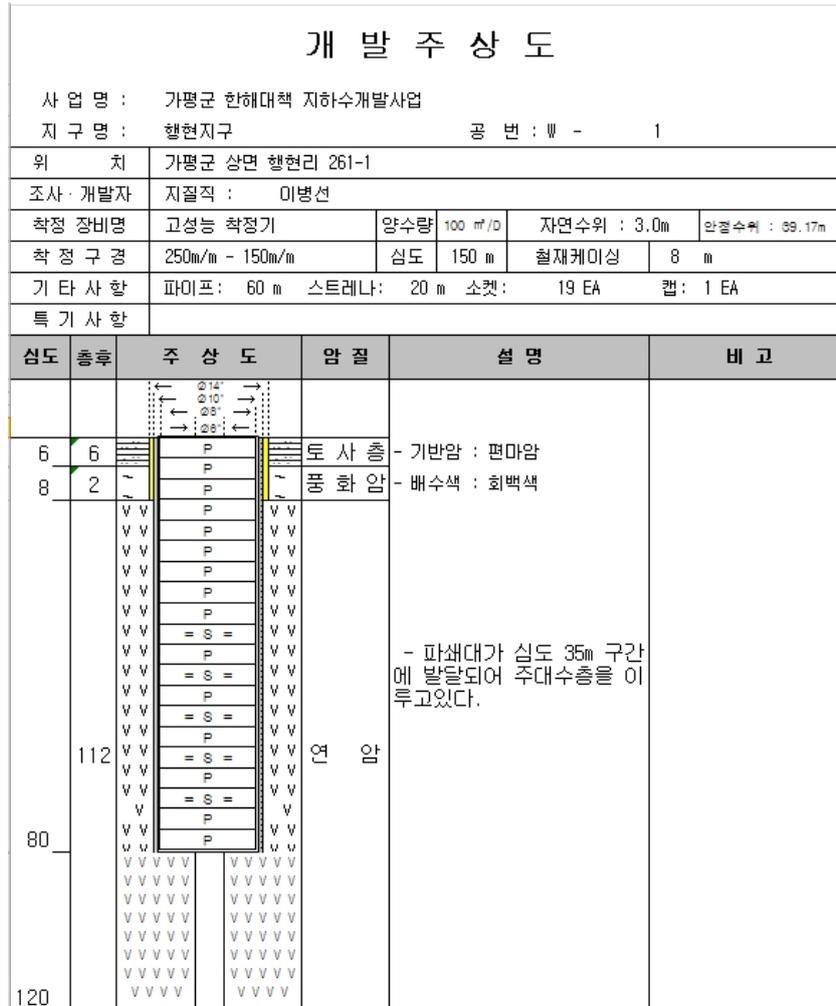


그림 4-2. 시추주상도와 우물자재 심도정보(예)

4. 수중모터펌프 및 전기시설 정보

- 최종 수중모터펌프 설치 날짜, 모델, 종류(그림 4-3)
- 수중모터펌프의 설치 깊이
- 관정에서 측정된 수중모터펌프 성능 자료
- 전기시설 및 자료
- 전력 공급원, 전압



(a) 수중모터펌프



(b) 압상파이프



(c) 전기배전반



(d) 전기계량기

그림 4-3. 수중모터 및 전기시설(예)

5. 개보수 정보

- 수중모터펌프, 케이싱, 스크린을 보수한 날짜와 상황 묘사
- 각각의 보수 전·후의 관정과 수중모터펌프의 성능
- 각각의 보수 작업 전, 도중, 후에 행한 진단법, 결과
- 각각의 보수 작업 전, 도중, 후에 행한 수질 측정법, 결과

제2절 공공관정 기능진단

관정 효율저하는 충전현상과 부식에 의해 크게 지하수 수량 감소와 수질의 악화로 구분된다. 그러나 이 두 가지는 독립되어 나타나는 것이 아니고, 대부분 두 양상이 맞물려서 나타난다.

1. 수량 진단 방법

대수성 시험은 수량 진단을 위해 가장 기본적으로 시행하는 방법이다. 대수성 시험은 다른 시험으로 얻지 못하는 관정의 성능 저하여부에 관한 정보를 제공해 준다. 대수성 시험은 단계양수시험과 장기양수시험으로 구분된다. 단계양수시험은 관정의 최대토출량 및 수두손실을 평가하기 위하여, 초기에는 작은 양수율로 양수하다가 점차 단계적으로 양수량을 증가시켜 일련의 시간-수위강하 자료를 얻는 방법이다. 장기양수시험은 양수정에서 측정된 토출량 및 관측공에서 측정된 수위강하량을 해석하여 대수층 및 균열대의 수리상수(수리전도도, 저류계수, 투수량계수 등)을 산출하는 방법이다. 대수성 시험을 통해 비양수량, 임계양수량, 우물효율 및 투수량계수 등 지하수 대수층과 관정의 특성을 알 수 있다. 대수성 시험을 실시하여 현재상태의 수리상수를 산출하여 관정개발 당시 설계내역 및 수리시험의 수리상수와 비교하게 되면, 양수율과 모래 유입의 관계, 양수되는 지하수의 물리화학적 특성과 변화를 확인할 수 있다.

가. 수두손실

일반적으로 지하수 관정에서 양수하면 동시에 수위강하가 발생한다. 이때 대수층 내에서 유동하는 지하수와 대수층 구성 물질 사이에서 발생하는 마찰력에 의해 발생하는 대수층 수두손실(formation loss)과 지하수가 관정으로 유입되는 과정에서 스크린에 의한 저항 또는 난류에 의해 발생하는 우물 수두손실(well loss)이 복합적으로 작용한다. 우물 수두손실은 지하수가 관정으로 유입되는 과정에서 스크린에 의한 저항 또는 난류에 의해 발생됨에 따라 양수량에 의해 결정되지만, 대수층 수두손실은 양수량과 더불어 양수시간의 영향을 받는다.

일반적으로 효율이 최대인 피압대수층내에 위치한 관정에서 양수에 의해 수위강하가 발생하는 경우 수위강하량은 (식 4-1)과 같다(Cooper and Jacob, 1946).

$$s = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{(2.25 Tt)}{r^2 S} \quad \text{[식 4-1]}$$

여기서, s 는 수위강하량[L], Q 는 양수량[L³/T], T 는 대수층의 투수량계수[L²/T], t 는 양수시간[T], r 는 양수정으로부터의 거리[L], S 는 대수층의 저류계수이다. 식(1)은 케이싱 내부에서의 수위강하를 나타낼 때는 (식 4-2)로 표현할 수 있다.

$$s_w = BQ \quad \text{[식 4-2]}$$

여기서, s_w 는 수위강하량, BQ 는 대수층 수두손실로 대수층 내에서 정류에 의한 수두손실이다. 그러나 지하수 흐름이 스크린을 통과하면서 난류가 발생하는 경우에는 (식 4-2)를 이용한 정확한 수위강하 계산이 어렵기 때문에, Rorabaugh(1953)는 피압대수층내의 수위강하는 스크린, 공벽 및 케이싱 내에서 일어나는 우물손실의 합으로 정의하였으며, 난류인 경우 수위강하량을 (식 4-3)과 같이 제시하였다.

$$s_w = BQ + CQ^n \quad \text{[식 4-3]}$$

여기서 n 은 난류의 정도를 나타내는 지수로 Rorabaugh(1953)는 n 을 2.43~2.82 범위로 제시한 바 있으며, Jacob(1947)은 $n=2$ 로 정의하고 수위강하량을 층류(laminar flow)에 의한 대수층 수두손실(BQ)과 난류(turbulent flow)에 의한 우물 수두손실(CQ^2)의 합으로 제시하였다(식 4-4).

$$s_w = BQ + CQ^2 \quad \text{[식 4-4]}$$

여기서 B 는 대수층 수두손실 계수(formation loss coefficient), C 는 우물 수두손실 계수(well loss coefficient)이다(Todd, 1980).

나. 비양수량

비양수량(specific capacity, S_c)은 수위강하(s_w) 대비 양수량(Q)을 의미하며, 관정의 성능을 평가하는 지표로 유용하게 사용된다(식 4-5).

$$S_c = \frac{Q}{s_w} \quad \text{[식 4-5]}$$

비양수량 값의 감소는 관정개발 후 충전현상, 부식 등이 발생하여 관정내로 유입되는 지하수 수량이 감소할 때 발생한다. 따라서, 기설관정의 관정효율 평가를 위해, 관정개발 당시와 동일한 조건(동일 양수량 및 시험시간)으로 양수시험을 하여 비양수량 값을 산출한 후, 관정개발 당시의 비양수량 값과 비교하게 되면 관정의 성능 저하 여부를 간단하게 평가할 수 있다.

이때, 수위강하량 (식 4-1)을 변형하면 (식 4-6)으로 표현할 수 있으며, 양변을 정리하면 (식 4-7)로 나타낼 수 있다.

$$s_w = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25Tt}{r_w^2 S}\right) + CQ^2 \quad \text{[식 4-6]}$$

$$\frac{Q}{s_w} = \frac{1}{\frac{2.3}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25 Tt}{r_w^2 S}\right) + CQ} \quad \text{[식 4-7]}$$

여기서, T는 투수량계수(transmissivity), r_w 는 관정 반지름, S는 저유계수, t는 양수시작 후 시험기간이다. C는 앞서 설명된 우물 수두손실계수로서 관정 스크린을 통해 비교적 빠른 유속으로 유입된 지하수가 양수기의 취수부까지 상승할 때 지하수와 케이싱 및 스크린 사이의 마찰에 의해 발생하는 수두손실이다.

그런데, $\frac{2.3}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25 Tt}{r_w^2 S}\right)$ 를 상수 B로 표현하면, (식 4-8)을 얻을 수 있다.

$$\frac{Q}{s_w} = \frac{1}{B + CQ} \quad \text{[식 4-8]}$$

여기서 B는 대수층 수두손실계수로서 대수층에서 지하수를 채수할 때 대수층 내에서 이동하는 지하수와 대수층 구성물질 사이에 발생하는 마찰력에 의한 수두손실이다. 즉, B는 우물 중심부에서 영향권 사이의 대수층 구간 내에서 일어나는 전체적인 수리저항이라고 할 수 있다. (식 4-8)을 (식 4-5)에 대입하면, (식 4-9)를 얻을 수 있다.

$$S_c = \frac{1}{B + CQ} \quad \text{[식 4-9]}$$

(식 4-9)로 부터 비양수량의 감소 원인은, 관정개발 후 충전 및 부식현상으로 인해 대수층 공극(1차공극 및 2차공극) 및 관정 스크린에 이물질이 집적되면 지하수 유동 시 마찰력이 높아지고(즉, B와 C 값의 증가), 이에 따라 지하수 수량이 감소함에 의해 기인한 것으로 판단할 수 있다.

다. 우물효율

우물손실과 대수층 손실은 단계적으로 양수량을 증가시키면서 관정의 수위강하를 측정하는 단계양수시험 결과를 이용하여 평가되는데, 양수에 의해 대수층으로부터 직접 유입되는 층류와 우물자재와 공벽 사이에 있는 충전용 자갈을 통과한 난류에 의해 발생하는 수두손실(head loss)을 산출하는데 이용된다(Cooper and Jacob, 1946). 일반적으로 단계양수시험은 일정한 시간간격으로 양수량을 증가시켜가며 관정의 수위강하량을 단계양수시험을 이용하여 지하수 관정 자체의 능력을 평가하는 대표적인 방법은 관정의 비수위강하량(specific drawdown, s_w/Q)을 이용하여 우물 및 주변 대수층의 수두손실율을 산출·비교하는 것이다. 관정의 비수위강하량은 양수량에 대하여 양수하는 동안에 발생하는 수위강하의 비로, (식 4-4)로부터 (식 4-10)으로 정리하여 시험결과를 그래프에 도시한 후 Bierschenk(1963)이 제시한 방법으로 우물 수두손실 계수(C)와 대수층 수두손실 계수(B)를 구할 수 있다.

$$\frac{s_w}{Q} = B + CQ$$

[식 4-10]

단계양수시험을 실시하여 각 단계별 양수량(Q)과 비수위강하량(s_w/Q)을 구하고, 이를 추세선으로 표현하면 <그림 4-4>와 같다. 이때 추세선의 y절편인 0.2642는 B값, 기울기 0.001은 C값에 해당한다.

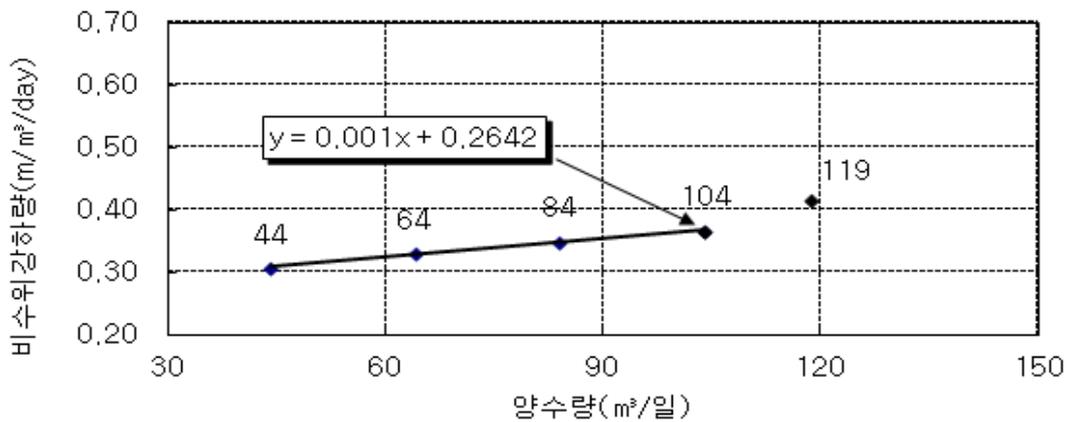


그림 4-4. 양수량과 비수위강하량과의 관계(예)

우물효율(E_w)은 (식 4-11)과 같이 표현되는데, <그림 4-4>에서 얻어진 B와 C값을 (식 4-11)에 대입하여 계산할 수 있다.

$$E_w = \frac{100}{[1 + (C/B)Q]}$$

[식 4-11]

기설관정에 대하여, 관정개발 당시와 동일한 조건(동일한 단계별 양수량)으로 단계양수시험을 실시하여 각 단계별 수위강하를 기록하고 추세선을 산출하여 우물효율을 계산한다. 이후 관정개발 당시의 우물효율 값과 비교한다. 두 값의 비교를 실시하여 차이가 발생했을 경우, 관정의 성능 저하 여부를 평가할 수 있다.

라. 지하수 개발 가능량 증가분 평가 기법

기계적 및 화학적 처리 등 다양한 방법을 적용하여 관정 정비를 수행하는 경우, 관정 내의 스크린 개공부의 충전물질 제거를 통한 우물 수두손실을 저하와 더불어 관정 주변 대수층 충전물질 제거로 인한 대수층 수두손실이 낮아짐에 따른 수위강하량이 감소하게 된다(그림 4-5). 동일한 양수량 Q로 양수를 하는 경우 관정 정비로 인한 수위강하량인 당초의 s_w 에서 s_{w1} 으로 감소됨에 따라, s_w 까지 수위강하를 일으킬 수 있는 양수량은 당초 Q에서 Q_1 으로 증가하게 된다. 또한 대수층 수두손실율의 감소는 수위강하량은 s_{w2} 까지 감소시킴에 따라 같은 수위강하량인 s_w 까지 도달하기 위한 양수량은 Q_2 까지 증가하게 된다. 따라서 효율적인 관정 정비는 당초의 양수량인 Q에서 Q_2 까지 증가하게 된다.

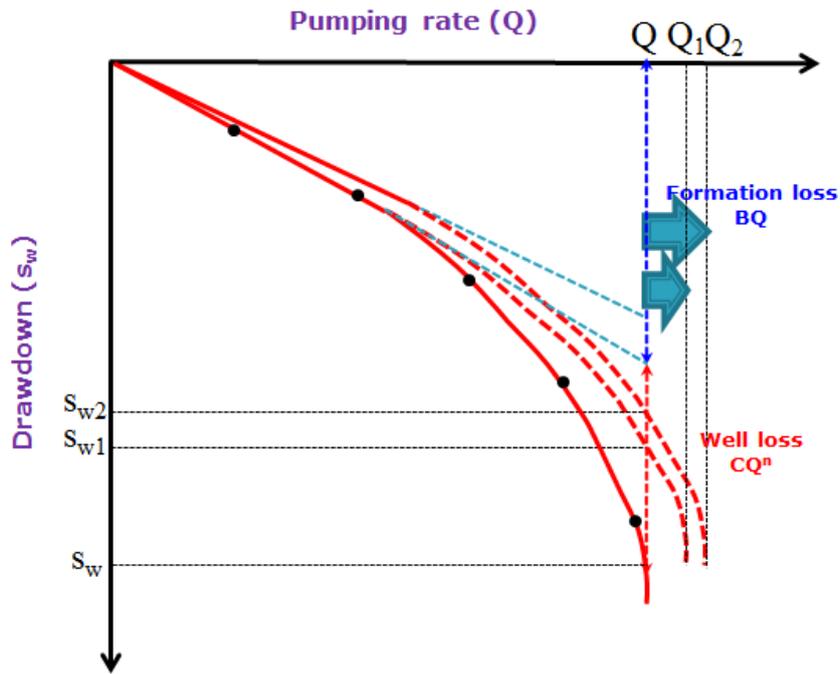


그림 4-5. 관정 정비를 통한 양수량 증가분 평가 모식도

본 연구에서는 이러한 양수량 증가분에 대한 정량적인 평가를 위하여, (식 4-12)를 제안하였다. 이는 공내 세척 전후의 수위강하량 변화값(Δs_w)과 공내 세척 이후의 비양수량(specific yield, Q_a/s_{wa}) 자료를 기초로 공내 세척 전후의 각 관정에 대한 개발 가능량의 증가량(ΔQ)을 정량적으로 계산하는 것이 가능하다.

$$\Delta Q = \Delta s_w \frac{Q_a}{s_{wa}}$$

[식 4-12]

마. 투수량계수

투수량계수(transmissivity, T)는 대수층 단면을 유동하는 지하수의 양을 수치(수리전도도(K)와 대수층 두께(b)의 곱)로 표현한 값이다(식 4-13).

$$T = Kb$$

[식 4-13]

투수량계수와 수위강하는 반비례관계에 있다. 즉, 투수량계수가 클수록 유동량이 많기 때문에 지하수 수위강하는 적게 일어나고, 반대로 투수량계수가 작을수록 지하수 유동량이 적기 때문에 지하수 수위강하는 크게 일어난다. 투수량계수는 장기양수시험을 통해 산출한다. 기설관정에 대하여, 관정개발 당시와 동일한 조건(양수량 및 시험시간)으로 장기양수시험을 실시, 커브매칭 등의 작업을 통하여 투수량계수를 산출하고, 관정개발 당시의 투수량계수 값과 비교한다. 두 값의 비교를 실시하여 차이가 발생했을 경우, 관정 내부로 유입되는 지하수 수량의 변화를 비교할 수 있게 되어, 관정의 성능 저하 여부를 평가할 수 있다.

2. 수질 진단 방법

공공관정 지하수의 수질 상태를 알아보기 위해서는 관정 내의 지하수를 채수해야 한다. 지하수 수질시료 채수를 위해, 관정 내에 고인 물의 약 4~5배 정도 양수해서 버린 후에 토출되는 지하수를 채수하여 수질시료를 분석하여야 한다. 그런데 양수 파이프를 통해서 나온 물은 관정 안으로 유입된 물이 혼합된 상태이기 때문에, 수질 불량 지하수에 대한 근원을 보다 정확히 알려면 관정 내 깊이 별로 채취한 물과 혼합된 물을 함께 채수하여 비교하는 것이 효율적이다. 깊이에 따라 지하수를 채수하려면 특정심도에서 시료를 채수할 수 있는 시료채수 장비나 관정 내 특정구간을 격리시키는 패커 같은 장비를 이용한다. 농어업용 공공관정의 경우, 기본적으로 농어업용 지하수 수질기준 16개 항목을 분석하고, 필요에 따라 항목을 추가하여 분석할 수 있다(표 4-1). 수질진단을 위해 가장 일반적으로 사용되는 항목들은 아래와 같다.

가. 색도

순수한 물은 무색이므로, 색을 띠는 것은 불순물이 녹아있다는 지시자가 된다. 색도가 적색을 띠는 것은 무기적인 화학반응이나 미생물의 활동에 의해서 생기는 철 3가 이온에 의한 것을 암시한다. 어두운 갈색이나 검은색을 띠는 물은 보통 망간, 세균, 또는 유기기원의 부식산이 존재하는 것을 지시한다.

나. 염소이온

해안변이 아닌 내륙에서 염소이온의 농도가 높게 나타날 경우, 염소이온은 중성 내지 산성의 지하수 환경에서 부식작용을 증가시켜 철 성분으로 구성된 우물자재를 파괴한다. 따라서 높은 염소이온 농도는 관정자재를 부식할 가능성이 높다는 것을 지시한다.

표 4-1. 수질분석 항목 및 기준

구분	분석항목	수질기준	비고
농어업용수 수질기준	수소이온농도	6.0~8.5	지하수 농·어업용수 수질기준 ¹⁾
	질산성질소	20mg/L 이하	
	염소이온	250mg/L 이하	
	카드뮴	0.01mg/L 이하	
	비소	0.05mg/L 이하	
	시안	0.01mg/L 이하	
	수은	0.001mg/L 이하	
	유기인	0.0005mg/L 이하	
	폐놀	0.005mg/L 이하	
	납	0.1mg/L 이하	
	6가 크롬	0.05mg/L 이하	
	TCE	0.03mg/L 이하	
	PCE	0.01mg/L 이하	
	1,1,1-TCA	0.3mg/L 이하	
추가항목	일반세균	100CFU/mL 이하	지하수 먹는 물 수질기준 ²⁾
	총대장균군	불검출/100mL	
	분원성대장균/대장균	불검출/100mL	
	암모니아성질소	0.5mg/L 이하	
	과망간칼륨소비량	10mg/L 이하	
	색도	5도 이하	
	철	0.3mg/L 이하	
	망간	0.3mg/L 이하	
탁도	1 NTU 이하		

1) 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙(환경부령 제476호) [별표4] 지하수의 수질기준(제11조 관련)

2) 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙(환경부령 제553호) [별표1] 먹는물의 수질기준(제2조 관련)

다. 황산이온

염소이온처럼 황산이온도 철이나 구리를 넓은 범위의 pH에서 부식시키며, 특히 중성의 지하수에서도 부식 작용이 활발하다. 한편 황산칼슘(CaSO₄) 침전물은 충전현상을 일으키기도 한다.

라. 철과 망간

pH 5 이하에서 철이나 망간은 2가 철 및 2가 망간으로 지하수에 용해되어, 관정의 스크린 주변이나, 주변의 대수층에 불용성의 젤리같은 물질을 형성한다. pH가 증가하거나 산소가 존재하면, 산화철(Fe₂O₃)이나 산화망간(Mn₂O₃)의 침전물을 형성한다. 관정으로 유입되는 지하수에서 이산화탄소가 빠져나오는 동안 탄산칼슘

(CaCO₃)이나 탄산망간(MnCO₃)이 침전되면 칼슘, 망간, 철, 마그네슘의 탄산염을 포함하는 복잡한 침전물이 관정 스크린이나 대수층의 균열, 공극 등에 생기게 되어 관정의 효율과 산출량이 급격히 감소하게 된다. 또한 극히 미량의 철과 망간도 *Gallionella*, *Crenothrix*와 같은 철, 망간 고정세균의 발육과정에 큰 영향을 미친다. 0.1mg/L의 철과 망간, 미량원소들과 영양분, 적당한 산소가 존재할 때 이런 세균들은 급속히 분열, 성장하여 스크린은 물론 대수층까지 막히게 한다.

마. 질산염

많은 양의 질산염은 음용수로서 부적합할 뿐 아니라, 세균의 질소원이 되어 세균증식에 의한 관정과 대수층의 막힘현상을 가속화시킨다.

바. 이산화탄소

이산화탄소는 물과 반응하여 탄산염을 형성한다. 탄산염의 용해와 침전은 가역반응이고, 양수에 의해 발생하는 온도와 압력의 조그만 변화에도 민감하게 반응한다. 파쇄 암반 대수층의 경우 대부분의 지하수는 파쇄대나 층리면을 따라 유동하는데, 탄산염은 틈이 작은 균열이나 층리면이 관정과 만나는 곳에서 대부분 침전한다. 반면, 틈이 큰 균열(일반적으로 0.25mm 이상)에는 침전하지 않는다. 이러한 현상은 틈이 작은 균열에 대한 처리가 필요하다는 것을 지시한다.

사. 산소

용존산소는 영양분과 소량의 미량원소와 함께 부식과 충전현상에 영향을 주는 미생물의 활동에 영향을 미친다. 용존산소는 철, 아연도금철, 강철, 황동의 부식을 증가시킨다. 낮은 pH조건에서 부식이 증가하지만, 높은 pH에서도 용존산소의 농도가 높으면 부식은 광범위하게 일어난다. 펌프의 주기적인 가동과 중단에 따른 난류와 교란작용, 그리고 펌프의 역류, 거품발생, 공동현상 등은 용존산소의 양을 증가시킨다. 용존산소량은 수질 분석보다는 현장수질측정기(DO meter)를 이용하여, 외기의 영향을 차단하고 직접 측정하여야 한다.

아. 경도

경도가 높은 지하수에서 칼슘과 마그네슘은 주로 탄산염을 형성한다. 온도가 증가하고 압력이 감소하면 탄산염이 침전한다.

제3절 공공관정 공내검층 진단

1. 물리검층

물리검층 방법은 지하수 이동과 관정 내에서 유동 양상을 직·간접적으로 측정해 준다. 관정의 특성을 파악하기 위해 가장 일반적으로 사용되고 있는 물리검층 방법은 온도, 유체저항, 자연전위, 전기비저항, 자연감마, 유속 검층 등이 있다(그림 4-6). 이 중 온도검층은 관정 내에 수온의 변화를 지시함으로써 다양한 경로에서 유입되는 지하수 또는 정체된 지하수 상태를 반영하고, 지하수의 지열구배에 따른 전반적인 반응양상을 제공한다. 유체저항 검층은 깊이에 따른 지하수의 상대적인 염도 변화를 지시해주고, 유속 검층은 관정 내에서 물의 움직임에 대한 상대적인 속도를 직접 측정할 수 있게 해준다. 물리검층 방법은 양수를 멈춘 상태에서, 또는 양수상태에서 실시할 수 있다. 그리고 어떤 경우에는 케이싱 바깥 대수층의 특성에 대한 정보가 필요하며, 이때는 철이나 PVC 케이싱을 통과하는 감마선 검층과 중성자 검층과 같은 방법을 사용한다(Glotfelty, 1993).



(a) 물리검층 장비



(b) 물리검층 사례

그림 4-6. 지구물리 검층장비 및 검층

일반적으로 물리탐사 분야에서의 검층은 시추공 내 검층을 의미하며, 측정방법은 센서가 달린 검층기를 줄에 매달아 공내에 삽입하여 물리량을 측정한다. 이때 이용되는 물리적 원리와 대상방법에 따라 전기 검층(자연전위 검층, 전기비저항 검층), 방사능 검층(자연감마 검층, 중성자 검층 등) 및 기타 검층(음향 검층, 시추공 텔레뷰어, 공경 검층, 온도 검층 등)이 있다.

가. 전기비저항 검층

전기비저항 검층은 시추공 내의 전극배열에 따른 겉보기 비저항을 측정하는 방법으로, 전기비저항은 전류의 흐름에 저항하는 물질의 특성으로 지층의 공극률과 수분의 함량을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 일반적으로 매우 건조한 모래나 점토의 비저항치는 매우 높지만, 일단 포화된 상태에서는 비저항치가 현저히 낮아진다. 즉 양질의 전도체인 물이 건조 상태의 모래나 점토를 포화시키게 되면, 물이 입자의 공극에 충전되어 공극과 공극 사이를 서로 연결시켜 주는 역할을 하게 된다. 보통 결정질암에 설치된 관정에서의 대수층 구간은 파쇄

대, 단층, 절리 및 층리면과 같은 2차 유효공극이 잘 발달되는데. 이 경우 구조선 발달이 미약한 구간에 비해 세립질 점토물질이 협재됨에 따라 전기전도도가 상대적으로 높아지는 특성이 있다.

전기비저항 검층의 종류는 단극저항(single electrode resistance) 검층, 정규(normal) 전기비저항 검층 및 lateral 전기비저항 검층으로 나눈다. 단극저항 검층은 직류 또는 저주파수 교류를 시추공 내에 위치하는 이동 전극과 지표상에 고정되어 있는 전극 사이로 흘려보내, 두 전극 사이 지층의 전기저항을 측정하는 방법이다. 이 방법은 공경과 이수의 영향을 많이 받기 때문에, 지층의 공극률이나 암상의 정량적 해석에 필요한 지층의 전기비저항을 구하기 어려운 단점이 있다. 노말 전기비저항 검층은 4개의 전극 중 시추공 내에 배열한 전류전극 C_1 과 전위전극 P_1 사이의 간격을 매우 짧게 배열함으로써 C_1 전극으로 부터의 전류에 의한 P_1 전극에서의 전위를 측정하는 방법이다. 이 검층법은 P_1 과 C_1 의 간격에 따라 단노말(short normal, 16")과 장노말(long normal, 64") 전기비저항검층으로 나누어진다. 이 방법은 검층기록이 대칭형으로 나타나고 인접지층의 효과도 적어, 지층 경계면을 결정하거나 공벽 주변의 전기비저항 측정에 유용하다. 래터럴 전기비저항 검층은 시추공 내 두개의 전위전극을 서로 근접(보통 32")시키고, 하나의 전류전극은 이들의 약간 상부에, 나머지 하나의 전류전극은 원 거리에 배열시키는 방법이다.

나. 자연전위 검층

자연전위 검층(SP검층: self-potential logging)은 지층 내에서 전해질의 유동(전기역학적 전위), 이동성이 다른 전해질의 접촉(화산전위), 세일의 반투막 작용(네른스트 포텐셜) 및 광화작용(광화전위) 등에 의해 존재하는 자연전위를 이용하는 검층 방법으로, 지구내부에서 발생하는 자연전류의 전위차를 측정·이용하는 물리검층법이다. 이때 자연전위는 일반적으로 전기역학적 또는 전기화학적 현상에 의한 배경전위와 광화작용에 의한 광화전위로 나뉜다. 배경전위는 보통 수십 mV 정도로 양 또는 음의 값을 가지나, 공장 등에 의한 극심한 지하 오염지역에서는 오염원의 이동형태에 따라 큰 값이 관측될 수도 있다. 반면 광화전위는 수백 mV 까지의 값을 나타내며 항상 음이다(그림 4-7).

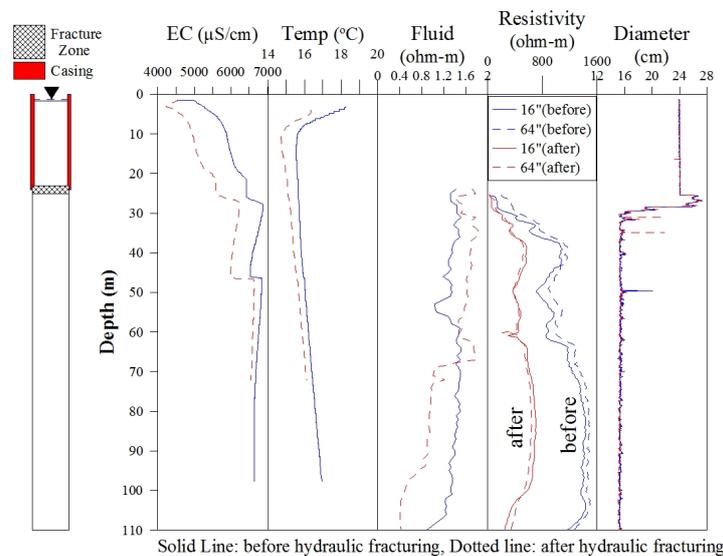


그림 4-7. 물리검층 결과

측정은 2개의 전극봉에 연결된 전위차 측정기를 이용하여 두 지점 사이의 전위차를 측정한다. 즉, 시추공 내에서 이동하는 전극(M)과 지상에 고정되어 있는 전극(N)사이의 자연전위 차이를 측정한다. 자연전위 곡선은 보통 셰일기선(shale base line)으로부터 편향의 크기로 정한다. 즉, 불투수성 셰일과 투수성 지층과의 전위차가 자연전위값이 된다. 지층에서의 자연전위값은 지층수 이수의 이온 함유비, 점토질 함유량, 지층의 두께, 이수 침입 및 지층경계 효과 등에 의해 좌우된다. 일반적으로 2개의 전극봉 중 1개는 지상에, 나머지 1개는 시추공 내에 설치하는데 통상적으로 SP곡선 모양은 전기비저항 곡선과 반대현상을 나타낸다. 일반적으로 고결도가 높을수록 비저항값은 큰 편이며, 동일한 암질이 연속될 경우에는 비저항과 거의 같은 정도의 곡선이 되는데, 호층을 이루고 있는 지층에서의 심도-비저항 곡선은 역으로 요철이 심한 곡선이 된다. 주로 투수성이 높은 지층의 판별이나 투수성 지층과 셰일층과의 경계결정, 지층수의 전기비저항 계산 및 암층 내에서의 셰일함량 추정 등에 이용되고 있고, 황화광물, 흑연, 자철석 등의 광상 탐사에도 이용된다.

다. 자연감마 검층

방사능 검층은 각 지층이 함유한 방사능 원소가 방출하는 자연감마선의 방출강도를 측정·기록하여 이용하는 방법으로써, 심도별 지층에서 방출되는 감마선의 강도로 표시된다. 감마선 검층기록은 주로 셰일함량에 영향을 받는데, 특히 퇴적암 지층의 경우 셰일이나 점토에 많이 함유된 방사능 동위원소(주로 K^{40})의 경우 강도가 크게 나타난다. 감마선 검층은 자연전위 검층이 불가능한 경우(시추공에 케이싱이 설치된 경우, 전기비저항이 매우 큰 지층의 경우, 이수와 지층수간에 염도의 차가 없는 경우 등)에 자연전위 검층의 대용으로 이용되기도 한다.

일반적으로 미고결암에서 측정한 방사능 곡선 중에서 감마선의 강도가 가장 크게 나타나는 경우는 대개 점토질 구간이며, 모래층은 강도가 상대적으로 약하게 나타난다. 측정방법은 시추공 내에 방사선 검층기를 넣어 지층에 함유되고 있는 자연적인 γ 선을 측정하여 지층을 판별하는데, 이때 암석 내에 자연적으로 존재하는 동위원소들의 방사능 붕괴로부터 나오는 자연감마선의 에너지 스펙트럼을 검층한다.

스펙트럼에는 K^{40} , U^{238} 과 Th^{232} 의 딸 원소인 Bi^{214} 와 Tl^{208} 에 의한 것이 많이 포함되어 있어, K, U, Th 그리고 총 감마선량에 해당하는 에너지 영역에서 각 동위원소의 존재와 함유량을 추출할 수 있다.

라. 온도 검층

이 방법은 온도계를 이용하여 시추공 내 지하수의 수직적인 온도변화를 측정하여, 지하의 지질 상태를 파악하는 검층이다. 일반적인 지온 상승률은 지하 30m 당 지온이 $1^{\circ}C$ 씩 증가하지만, 시추공 내의 지층 변화나 대수층의 상태에 따라 달라질 수 있다. 온도 검층에는 보통 저항 온도계를 이용하며, 지하수 유동에 따른 대수층의 위치나 케이싱 후면의 시멘트 상태변화에 따른 온도변화 측정으로 케이싱 후방의 시멘트 위치 등을 결정하는데 이용된다. 또한 가스가 시추공 내로 유입되는 경우 부피 팽창에 의한 온도 하강을 탐지하여 가스 유입구간을 확인할 수 있다.

마. 공경(caliper) 검층

이 방법은 시추공의 직경을 심도에 따라 연속적으로 측정하는 것으로, 공경값을 이용하여 다른 검층 결과를 보정하는데 이용된다. 측정 방법은 측정 팔을 사용하기 이전에 보정시험을 하고, 시추공의 바닥까지 손테(sonde)를 내린 후 측정 팔(arm)을 편 상태에서 일정한 속도로 상승시키며 측정한다.

2. 수중TV 검층

수중TV 검층은 관정 내부를 직접 들여다보고 어느 심도에서 어떠한 문제가 발생하였는지를 직접 평가하는데 활용되는 방법이다. 수중TV 검층은 관정의 구조적 결함과 충전물질 및 부식의 정도 등을 알 수 있게 한다. 수중TV 검층은 양수시설을 인양하고 24시간 이상 경과 후 시행한다. 수중TV 검층 시 공벽에 체적되어 있는 이물질 등의 심도를 기록하여야 하며, 녹화된 검층파일에서는 이물질이 상세히 보일 수 있도록 해상도를 최대한 높여서 기록하여야 한다.



그림 4-8. 수중TV 검층

제5장 공공관정 기능진단 표준화(안)

일반적으로 농어업용 지하수의 경우 농작물의 계절적인 수요량 변화로 인한 불규칙적인 이용 패턴으로, 관정을 이용하는 농업인의 경우에는 안정적인 유지/관리에 대한 필요성이 높다. 특히 지방자치단체나 한국농어촌공사에서 운영하는 농어업용 공공관정의 경우에는, 용수의 안정적 공급을 위한 체계적인 관리 방안 수립이 필수적이다. 이와 관련하여 지하수법 제9조에서는 취수량 150m³/일 이상의 농어업용 관정은 매 5년 주기로 사후관리를 통한 점검정비를 시행하도록 규정하고 있다. 이때의 사후관리에는 지하수 이용시설의 청소, 검사 및 정비 등의 공정이 포함되며, 세부적으로는 공내 세척, 부식된 관정 시설물의 교체, 전기시설 정비 및 양수장 건물의 누수 보강 등의 작업에 대한 내용들이 있다.

그러나 지하수 관정의 규모, 용도, 토출량 및 효율저하 원인 등 사후관리를 위한 기초적인 기능진단 방법에 대한 규정이 없기 때문에, 국내에서는 대부분의 경우에는 관정에 대한 기초조사 없이 관정 내부 전체 구간에 대하여 에어써징(air surging)을 이용한 공내세척 방법이 적용되고 있다(한국농어촌공사, 1997; 한국수자원공사, 2011). 특히 공내 세척 등 사후관리 이후의 양수량 증가 및 수질 개선 등 관정 성능 개선에 대한 정량적인 평가 기준 및 절차 부재로, 효율적인 공내 세척 방법이나 효과 등에 대한 체계적인 검토가 필요한 실정이다.

일반적으로 지하수 관정의 성능은 관정 개발 후 시간 경과에 따라 감소되며, 일정 시점을 경과하면 급격하게 감소하는 특징이 있다. 그러나 급격한 감소 시기는 대수층의 물리적 특성, 지하수 수질, 관정 내 스크린의 폐색, 관정 사용의 방식 등에 따라 다르다. 이러한 성능 저하에 큰 원인으로는 관정 내 케이싱과 스크린에서 발생되는 부식(corrosion)과 피막 발생에 따른 충전(incrustation)이 대표적이다(한국농어촌공사, 1997; Houben and Treskatis, 2007). 따라서 관정에 대한 적절한 유지/관리는 관정 수명을 연장시킬 수 있는데, 이를 위한 방법으로는 물리적인 처리와 화학적인 처리 방법이 있다. 이러한 유지/관리를 통한 관정의 성능 회복을 정량적으로 평가하기 위해서는, 해당 관정에 대하여 공내 세척 등 유지/관리 전후에 단계양수시험(step-drawdown pumping test)을 통한 다양한 해석 결과를 이용한다(Driscoll, 1986; Houben and Treskatis, 2007).

한국농어촌공사(1997)는 농어업용 공공관정의 성능 저하 원인 규명을 위해, 에어써징 전후 단계양수시험을 해석 결과를 제시한 바 있다. 이 결과 우물효율 증가는 개발연도가 오래된 관정일수록 우물효율 개선정도가 큰 것으로 나타났으며, 적절한 소독 및 공내 세척을 하는 경우 우물효율은 약 1~5배, 양수량은 약 4~10% 증가하는 것으로 밝혀졌다. 특히 우물효율의 증가는 개발 이후 약 10년 이상 경과된 관정들에서는 효과가 더 큰 것으로 나타남에 따라, 기존 관정들의 효율 증대를 목적으로 소독 및 공내 세척을 하는 경우는 약 10년 이상 경과된 관정을 대상으로 하는 것이 효과적인 것으로 제시하였다.

제1절 농어업용 공공관정 사후관리(재생이용) 필요성

1. 법적 시행근거

기후변화로 인한 가뭄빈도 증가, 시설영농확대에 따른 양질의 용수 공급 요구 등에 대응하기 위해, 안정적인 용수 확보와 양질의 수자원 확보에 대한 농어민의 요구는 높아지고 있다. 이러한 요구에 부응할 수 있는 수자원이 지하수임을 고려할 때, 부적절한 관리로 인한 농어업용 공공관정의 수량부족 및 수질악화는 농어민의 요구에 정반대의 결과를 제공한다.

또한, 수량 및 수질에 문제가 발생한 공공관정에 대해 적절한 재생이용에 대한 노력없이 방치하는 경우는, 환경적으로도 농어촌 지하수는 청정용수로서의 가치를 잃게 되는 문제를 유발한다. 결과적으로, 부적절한 농어업용 공공관정의 관리는 농어촌지역 가용 지하수자원의 양을 오히려 감소하는 역효과를 초래한다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 정부에서는 지하수 관정에 대한 정기적인 점검정비를 통해 상시 가용한 지하수자원을 확보하고 동시에 후손에 이르기까지 청정 지하수 자원을 활용할 수 있도록 관정에 대한 사후관리(재생이용) 제도를 지하수법에 마련하였다. 지하수법 제9조의5(지하수개발·이용시설의 사후관리 등) 및 동법 시행령 제14조의4(지하수개발·이용시설의 사후관리 등)에 법적 근거를 마련하여 사후관리 업무의 의무 시행을 요구한다(표 5-1).

표 5-1. 관정 재생이용(사후관리) 법적 시행 근거

법	조문	내용
지하수법	(법 제9조의5) 지하수개발·이용시설의 사후관리 등	① 이 법 또는 다른 법률에 따른 허가·인가 등을 받거나 신고를 하고 지하수를 개발·이용하는 자(이하 “지하수개발·이용자”라 한다)는 지하수 수질보전 등을 위하여 지하수개발·이용시설의 정비 등 사후관리를 하여야 한다. [중략]
	(시행령 제14조의4) 지하수개발·이용시설의 사후관리 등	④ 제1항에 따른 사후관리 대상 시설, 용도, 검사주기, 그 밖에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. ① 법 제9조의5제1항에 따른 사후관리는 지하수개발·이용시설의 청소와 검사 및 정비로 한다. [중략]
		④ 법 제9조의5제4항에 따른 사후관리 대상 시설의 규모 및 용도는 다음 각 호와 같으며, 검사주기는 2년으로 한다. 다만, 제4호에 해당하는 시설의 검사주기는 5년으로 한다.

상기 지하수법 및 시행령 조항에 의하면 취수량 150m³/년을 초과하는 농어업용 관정에 대해서는 매 5년마다 주기적인 사후관리(재생이용)를 시행하도록 요구하고 있다. 동법 시행규칙 제9조의5(지하수개발·이용시설의 사후관리 등), 제9조의7(사후관리 방법 등) 및 별표3에 의하면 사후관리 공종은 지하수개발·이용시설의 청소 및 지하수개발·이용시설의 검사 및 정비 등으로 구성된다(표 5-2). 이를 통하여 저하된 우물효율을 회복하

고, 지하수개발이용 허가·신고증에 기록된 지하수 수량만큼 토출량을 회복하며, 관정세척으로 수질을 회복하게끔 하여 농어업용 지하수 수질기준에 부합하게끔 요구하고 있다.

표 5-2. 관정 사후관리(재생이용) 방법(※지하수법 시행규칙 별표3)

<u>1. 지하수개발·이용시설의 청소</u>	
가.	지하수 취수정 안에 설치되어 있는 양수시설을 끌어올려 품목별로 상태를 점검하고 세척 등의 방법으로 오염물질을 제거할 것
나.	자연 수위와 굴착 깊이를 확인할 것
다.	고압세척기를 이용하여 취수정 내부의 오염물질을 깨끗하게 제거할 것
라.	배출되는 지하수가 깨끗해질 때까지 계속 청소할 것
마.	지하수와 함께 배출되는 오염물질은 침전 용기 등을 설치하여 주변이 오염되지 않도록 할 것
바.	상태점검 및 세척 등 청소가 완료된 양수시설을 취수정 안에 끌어올리기 전 상태로 설치할 것
<u>2. 지하수개발·이용시설의 검사 및 정비</u>	
가.	지하수개발·이용시설의 반지름 10미터 이내에 위치한 주변부를 정리할 것
나.	상호보호공 내벽에 균열이 발생하였는지를 점검하고 외부에서 물이 스며들지 못하도록 정비할 것
다.	동력기동장치와 수중모터 간 동력전선의 절연상태를 확인할 것

2. 사후관리 문제점

일반적으로 지하수 채수를 목적으로 개발한 관정은 개발 이후 시간이 경과함에 따라 주변 대수층을 통한 이물질이 유입되어 관정 내부에 쌓이거나 스크린의 간극을 메우는 등으로 인해 관정의 우물효율이 저하된다. 또한 개발 당시 단기간의 양수시험을 통한 양수량의 과다 산정도 효율저하의 직접적인 원인 중의 하나이다. 이에 따라, 지하수법(제9조의5)에서는 취수량 150m³/년을 초과하는 농어업용 관정에 대해서는 매 5년마다 주기적인 사후관리(재생이용)를 시행하여 관정의 재생이용을 시행하여 지하수 관정의 재생이용을 요구하고 있다.

그러나 대부분의 농어업용 공공관정은 시·군 지자체 유지관리 예산 부족으로 사후관리를 매 5년 주기가 아닌 부정기적으로 실시하거나 미시행하는 경우가 빈번하여 지하수 수량부족 및 수질저하에 따라 농어민이 요구하는 수량·수질을 충족하지 못하는 경우가 발생한다(그림 5-1). 사후관리 미시행시에는 스크린에 침전물이 발생하고, 이로써 관정 내부로 지하수 유동이 저하되며, 결과적으로 지하수 토출수량의 감소로 이어진다. 또한 관정 스크린에 침전물이 발생하거나, 수중모터펌프 등 수중설비가 부속되면, 이물질의 지하수 내 부하량이 증가하고, 이로써 수질악화가 발생된다.

사후관리 미이행시....

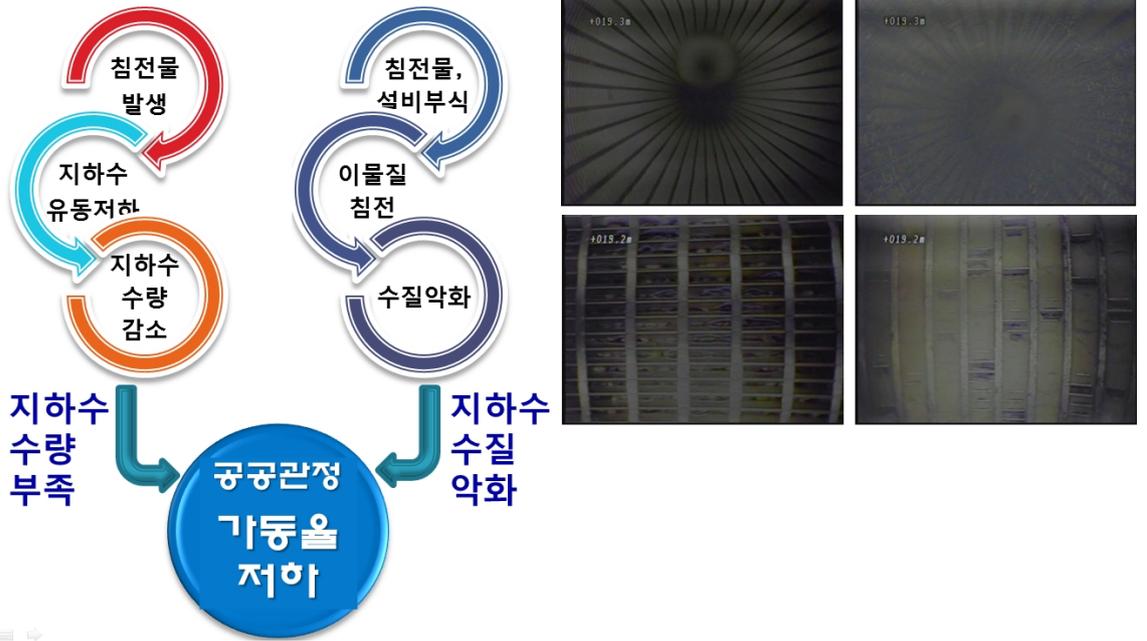


그림 5-1. 사후관리 미이행 시 공공관정 가동을 저하 원인

그리고 농어촌지역 대부분의 관정에서 양수량의 감소에 의한 효율저하는 곧바로 해당 관정의 불용공 처리와 대체 관정 개발로 이어져 근본적인 문제 해결 노력보다는 불필요한 예산낭비의 요인이 되고 있다. 또한 지하수가 오염되면 복구 및 정화에 긴 시간과 많은 비용이 소요되며, 오염의 확산범위는 예상보다 매우 넓고 예측하기도 어렵다. 따라서 기 개발된 관정이 수질 악화 및 수량 부족으로 사용을 못하게 되는 경우에는 해당 관정이 불용공 처리가 되기보다는 방치되는 경우도 있어, 불용공을 통한 지하수계로 오염물의 직접 유입을 일으키는 원인이 되기도 한다.

결과적으로 국내 농어업용 공공관정의 경우, 관정의 규모, 용도, 토출량 및 효율저하 원인과 관계없이, 여러 기법 중 에어써징(air surging)을 이용한 공내세척이 대부분 일괄적으로 적용 중이어서 다른 세척공법과의 장단점 비교가 쉽지 않다(그림 5-2). 또한 에어써징 전·후 우물효율 증감여부 확인, 수질개선 확인 규정 및 절차가 마련되어 있지 않은 관계로, 사후관리 작업 후 실제로 얼마나 우물이 재생되었는지에 대한 파악이 쉽지 않은 실정이다.



① 정비 전 공공관정



② 정비전 내부시설



③ 양수시설 인양



④ 공내청소(에어써징)



⑤ 양수시설 세척



⑥ 펌프교환(필요시)



⑦ 고무가스켓 교환(필요시)



⑧ 양수시설 재설치



⑨ 외관 도색

그림 5-2. 현행 일반적인 농어업용 공공관정 정비 과정: 에어써징 및 도색

3. 사후관리 장점

관정은 완공 순간부터 시간이 지남에 따라 서서히 효율이 감소하다가 어느 시점에서 급격하게 효율이 떨어지는데, 주변 대수층의 종류나 물리적 환경, 지하수의 화학적 특성, 양수 환경, 영향반경 내 오염원의 존재 여부, 관정의 용도 등이 서로 다르기 때문에 급격한 효율의 감소 시기도 조금씩 다르게 나타난다. 감소된 효율로 인하여 관정의 경제적인 가치가 떨어지면 그 수명이 다하게 되는데, 대수층의 종류와 관정의 용도에 따른 관정의 수명을 살펴보면 암반 대수층에 위치한 관정과 가정용 관정이 다른 조건의 관정에 비해 수명이 긴 것으로 알려져 있다(표 5-3).

표 5-3. 대수층 형태와 관정 용도에 따른 관정 수명(Gass et al., 1980)

	방치 시(년)			적절한 관리 시(년)		
	가정용	관개용	도시용	가정용	관개용	도시용
1. 미고결 층적층	20-30	2-3	2-10	40-50	5-10	30-40
2. 부분고결 퇴적암	20-30	3-5	3-12	40-50	5-12	30-50
3. 고결된 퇴적암						
a. 사암	15-20	1-3	6-10	30-35	12-17	30-35
b. 석회암	10-15	1-5	4-6	20-30	5-15	20-30
c. 셰일	10-12	2-3	-	20-25	5-10	-
4. 고결된 결정질암						
a. 화강암	20-30	10-30	10-30	50+	50-100	50-200
b. 변성암	20-30	10-30	10-30	50+	50-100	50-200
c. 현무암	20-30	10-30	10-30	50+	50-100	50-500

이러한 결과는 관정에 대한 관리가 적절히 이루어지는 경우 관정의 수명이 50년 이상으로 연장될 수 있으므로, 적절한 관정의 관리가 관정의 수명에 있어서 매우 중요함을 나타낸다(그림 5-3). 따라서 농어업용 지하수 공공관정의 선량한 유지관리가 필요하다. 나아가, 지하수 관정 개발 시 오염물질이 유입되지 않도록 철저한 시공은 물론이거니와, 시설 관정에 대해서는 정기적으로 철저한 사후관리가 이루어질 수 있도록 하여야 한다.



그림 5-3. 공공관정 사후관리(재생이용)에 따른 시설물 기대수명 증가

만약 공공관정 효율저하시, 해당 관정의 불용 및 대체 관정 개발이 추진된다면, 불용비 약 3,000천원/공, 신규 개발비 약 60,000천원/공으로 가정할 경우, 총 약 63,000천원/공의 비용이 소요된다. 반면, 재생 이용을 위한 사후관리비는 약 5,000천원/공 소요되므로, 재생이용 시 신규개발에 비해 비용절감의 이득이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 관정 당 약 40m³/년의 추가 지하수 확보를 가정하고 이 결과를 전국 27,980개소 농어업용 공공 관정에 적용하는 경우, 약 4.1억m³/년의 추가 지하수자원을 확보할 수 있는 것으로 분석된다.

제2절 기능진단 필요성

농어업용 지하수의 이용량 및 경제적 가치의 증가는 공공관정의 선량한 유지관리에 대한 요구로 이어진다. 이에 따라 지하수법 제9조의4에 의거 취수량 150m³/년 이상의 농어업용 관정은 매 5년마다 주기적인 점검정비(사후관리)를 시행하도록 규정하고 있다. 사후관리 공종은 크게 지하수개발·이용시설의 청소 및 지하수개발·이용시설의 검사 및 정비로 구성되며, 세부적으로는 공내세척, 부식된 관정시설물 교체, 전기시설 정비, 양수장옥 누수 보강 등이다.

그러나 대부분의 현장에서는 사후관리를 위한 표준화된 기능진단 실시요령 또는 방법 등이 마련되어 있지 않다. 이에 따라 개별관정에 대한 적절한 진단(관정의 규모, 용도, 토출량 및 효율저하 원인) 결과와 관계없이, 대부분 관정 바닥에 고압의 압축공기를 주입하는 에어써징 방법을 이용한 공내세척이 일괄적으로 적용되고 있는 형편이다. 또한 사후관리 전·후의 우물효율 증감 여부 확인요령 및 수질검사를 통한 수질개선능 평가요령 등에 대한 절차도 마련되어 있지 않다. 이러한 결과로 대부분의 농어업용 공공관정은 지자체 유지관리 예산 부족으로 정비(사후관리)를 부정기적으로 시행하며, 사업비를 투입하여 시행하는 경우에도 우선순위에 대한 진단없이 오래된 관정순으로 사후관리를 적용하다보니, 수량부족 및 수질저하에 따른 농어민의 요구를 즉시 충족하지 못하는 경우가 발생하고 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 연구에서는 농어민의 요구에 충족할 수 있도록 농어업용 공공관정에 대한 기능진단 요령에 대한 표준화(안)을 수립하였다. 공공관정 기능진단은 기본진단, 세부진단, 사후관리, 유지관리 순서로 진행한다(그림 5-4). 이 때 중간 진단 과정에서도 관정에 대한 진단이 충분히 가능할 것으로 판단되면, 진단절차는 해당 단계에서 마무리할 수 있다.

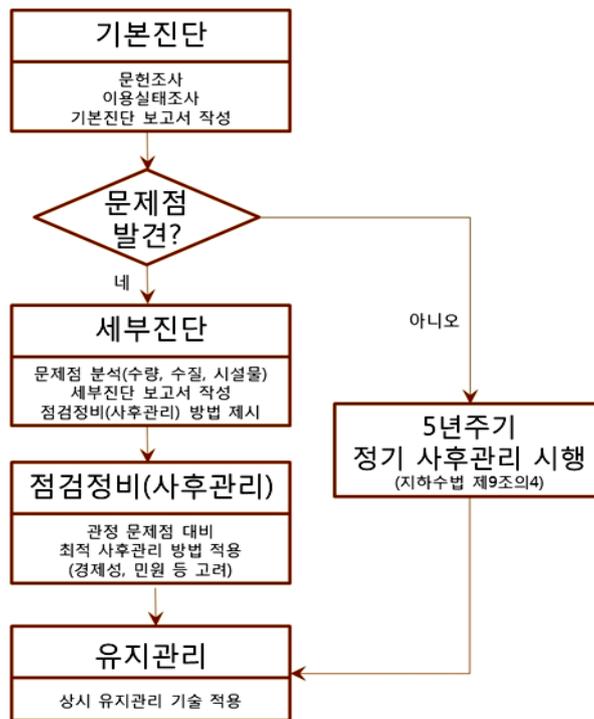


그림 5-4. 농어업용 공공관정 기능진단 표준화(안) 순서

제3절 기능진단 표준화(안)

농어업용 공공관정 기능진단(diagnosis function)은 관정시설의 기능을 상시 유지·보전하기 위한 것으로, 관정의 물리적·기능적 문제점의 원인 조사 결과를 토대로 관정의 최적 재생방법 제시한 후 관정 본래의 기능을 회복·개선시키는 일련의 과학적인 절차이다. 이 연구에서 제시하는 농어업용 공공관정 기능진단은 기본진단, 세부진단, 사후관리, 유지관리 순서로 진행한다.

1. 기본진단

농어업용 공공관정 재생이용을 위해 가장 우선적으로 요구되는 점은 현재 해당 관정에 어떠한 문제가 있는지를 정확히 진단하는 것이다. 정확한 진단을 통해 적절한 사후관리 방법을 선택할 수 있고, 가장 경제적이고 효과적인 관정기능 회복을 도모할 수 있다.

기본진단은 농어업용 공공관정 관련 자료를 검토 한 후 현장에서의 실태조사를 통하여 관정의 상태를 판단하는 과정으로서, (i) 문헌조사, (ii) 이용실태조사, (iii) 보고서작성 순으로 진단을 진행한다. 기본진단 단계에서는 공공관정의 현재 상태에 대한 문헌조사 및 이용실태조사에 중점을 두고 진단한다. 기본진단 결과 문헌조사와 현장 이용실태조사 내역이 동일하면, 공공관정이 선량하게 관리되어 특별한 문제점이 없는 것으로 진단할 수 있다. 따라서 기본진단 단계에서 관정진단을 종료하고 세부진단을 실시하지 않으며, 사후관리시행 우선순위에서 가장 후순위로 해당관정을 조정할 수 있다. 또한 기본진단만으로도 진단절차가 완료된 관정은 5년 주기의 사후관리 시설물 점검정비를 위주로 시행하여, 양수시설 세척비용을 절감할 수 있도록 한다.

가. 문헌조사

농어업용 공공관정 진단을 위해서는 우선 해당 관정에 대한 자료조사가 필요하다. 첫째, 농업기반시설과 관계있는 문헌으로서 농업기반시설 등록부에 대한 조사가 필요하다. 농업기반시설 등록부에 기재된 지하수 시설물 내역, 지하수 수혜 물리구역 면적, 관정관리자 등에 대한 확인이 필요하다. 둘째, 지하수 인허가와 관계있는 서류로서 지하수개발이용허가(신고)증, 지하수개발이용연장허가증, 사후관리이행종료신고증, 정기 수질 검사 결과 등에 대한 확인이 필요하다. 또한 관정 개발당시 시추주상도, 물리탐사 내역 등이 포함된 지하수연장허가보고서 및 전기배전반 설계도 등도 확인할 필요가 있다. 그리고 농업기반시설 등록부 대비 지하수 인허가 서류의 내역을 비교하여 상호간에 틀린 기록 등을 확인할 필요가 있다. 셋째, 기타 자료로서 지형도, 지적도, 토지대장 등을 확인하여 관정 실제위치, 토지소유주 등을 확인하여야 하고, 과거와 현재의 주된 농어업생산물 대비 지하수 이용량 등도 확인할 필요가 있다.

- 관정자료: 농업기반시설 등록부, 지하수 인허가 서류(지하수개발이용허가(신고)증, 지하수개발이용연장허가증, 사후관리이행종료신고증, 정기수질검사 결과)
- 지하수자료: 대상관정 내지 주변지역 대형관정 지하수연장허가 보고서, 지하수환경영향평가 보고서, 시추주상도, 전기배전반 설계도, 물리탐사 내역, 지하수 오염도 연구조사 보고서 등
- 기타자료: 지형도, 지적도, 토지대장 등

나. 이용실태 조사

문헌조사 결과를 토대로, 농어업용 공공관정이 설치된 지점을 방문하여 문헌의 내용과 현재의 상태를 비교·분석한다. 즉, 문헌조사에서 확인된 관정 내역(양수량, 허가(신고)량, 수질현황, 전기시설물 상태, 펌프 및 배관시설 등)을 현장에서 확인된 내역(관정 입간판에 기록된 내역 및 수치, 현장진단에서 산출한 지하수 수량·수질 측정치 등)과 비교하여 진단하여야 한다. 그리고 관정 외관시설물의 문제점과 관정시설물 위치 및 정확한 지번 파악도 추가적으로 필요하다. 또한 지역주민들과의 대화를 통한 청문조사를 통해 관정 시설물의 이용주기, 이용량, 이용에 따른 문제점 또는 만족도 등을 청취하여 관정의 이용성을 제고할 필요가 있다. 수질조사 시의 경우, 이용실태 조사 과정에서는 현장수질특성(전기전도도, 수소이온농도, 탁도)을 측정하는 것을 원칙으로 하되, 필요에 따라 시료를 채수하여 농어업용 지하수 수질기준을 토대로 분석할 수도 있다. 이용실태조사를 위한 조사내역은 아래와 같다(표 5-4), (표 5-5).

○ 수량진단

- 민원 및 공공관정 개발연도 등을 고려하여 수량진단 대상관정 선정
- 용수구역별, 수문지질별 세부유형을 구분하여 대표적인 지역들 선정
- 수량진단 대상 관정 세분화
 - 굴착심도, 재원, 최대토출량 등 관정형태 및 목적에 따른 유형 세부구분
 - 관정개발연도 대비 사용연차, 연중 사용빈도 및 사후관리 시행 후 경과연수에 따른 수량진단
- 현장 간이 수량진단: 5~10분 가동 후 지하수 수위 및 토출량

○ 수질진단

- 수질진단 대상 공공관정 선정
 - 수질진단 대상 공공관정은 수량진단 공공관정을 토대로 선정
 - 세부 지역별(용수구역별, 수리지질유형별) 고려 하에 선정
- 수질영향 요인 점검: 관정종류(층적/암반), 개발심도, 주변 오염원(자연오염원/인공오염원) 현황, 시설물 누수/관리상태 등
- 정기 수질검사(매 2년마다) 결과 이력 검토
- 과거대비 악화된 수질항목 진단 절차
- 수질진단 대상 관정 세분화
 - 주변 유기오염물질 발생시설 빈도에 따른 세분화: 미생물(일반세균, 대장균) 발생 가능성에 따른 세분
 - 모암기원 토질별 점토함량 대비 세분화: 침전물 발생 가능성에 따른 세분
 - 관정개발연도 대비 사용연차, 연중 사용빈도 및 사후관리 시행 후 경과연수에 따른 수질 진단
- 현장 간이 수질진단: 토출시 이물질 여부, 지하수 전기전도도, 수소이온농도, 탁도

표 5-4. 지하수 이용실태 현장조사표(출처: 지하수업무수행지침서 표 3.1)

조사일 : _____, 조사자 : _____

① 관리현황

허가형태	허가시설(), 신고시설(), 경미한 시설()	허가(신고/경미)번호	
관련법률		소관부서	

- 1) 허가형태는 ○ 또는 ✓ 으로 표시
- 2) 관련법률은 지하수법, 농어촌발전특별조치법, 국방군사시설사업에관한법률, 제주도개발특별법, 온천법, 민방위법, 수도법, 먹는물관리법, 하천법, 주택건설관리등에관한규정, 폐기물관리법, 기타법률 등 개발이용, 허가 및 신고업무와 관련된 해당 법령명을 기재
- 3) 소관부서는 개발이용의 허가, 신고 등의 업무를 담당한 시군구의 해당부서

② 위치현황

정호 위치	지명/건물명	사용자명	전화
	상호명	소유자명	전화

- 1) 정호위치는 시설이 위치한 지점에 대한 조사임
- 2) 지명/건물명은 사실이 위치한 지명, 건물명 등을 기록하고, 상호명은 지하수를 사용하는 사업체의 명칭을 기록함
- 3) 소유자명은 사용자와 소유자가 다른 경우에 기입함

③ 이용현황

용도	세 부 용 도						
생활용() 공업용() 농어업용() 기타()	○ 가정용(), 일반용(), 학교용(), 민방위용(), 국군용(), 공동주택용(), 간이상수도(), 상수도(), 농업생활용(), 기타() ○ 국가공단(), 지방공단(), 농공단지(), 자유입지업체(), 기타() ○ 전작(), 답작(), 원예(), 수산업(), 축산업(), 양어장(), 기타() ○ 온천수(), 먹는샘물(), 기타()						
공공시설(), 사설시설()	사용기간	연중사용(), 일정기간 사용(월부터 월까지)					
음용(), 비음용()	사용가구수	가구	사용인구	명	1인당급수량	ℓ/일/인	
농업관정용면적	ha	정수처리여부	정수처리함(), 정수처리하지않음()				
일사용량	m ³ /일	월사용량	m ³ /월	년사용량	m ³ /년		
사용량산정기준	계측기의 수치기록(), 하수처리시설의 인정수량(), 사용자의 의견청취(), 토출구경/사용시간에 근거하여 추정(), 개발당시의 취수계획량 인용()						

- 1) 해당 란에 ○ 또는 ✓ 으로 표시
- 2) 사용량 기재시 하수세부과시설은 월사용량을 우선 기입하여 이를 토대로 일사용량과 년사용량을 추정하고, 기타 시설은 일사용량을 파악하여 월사용량과 년사용량을 추정

④ 시설현황

정호형태	관정(), 인력관정(), 집수암거(), 지하매(), 재래식우물(), 기타()						
총적관정(), 암반관정()		개발년도		시공업체명			
심도	m	구경	mm	펌프마력	HP	양수능력	m ³ /일
토출구구경		mm					
시설유무 : 유량계(), 출수장치(), 그라우팅(), 상부보호공(), 수위측정관(), 케이싱(), 전기가설()							

- 1) 시설의 설치유무는 ○ 또는 ✓ 으로 표시

⑤ 불용공 및 수질현황

불용공 현황	사용중지원인 (불용공원인)	수량부족(), 수질악화(), 상수도대체(), 토지형질변경(), 소유주변경(), 용도변경(), 사용중지(), 염분증가(), 기타()					
	불용공발생일	년 월 일	불용공처리일	년 월 일	불용공처리업체		
수질 현황	불용공 처리방법	케이싱제거및시멘트슬러리·몰탈되메움(), 케이싱미제거및시멘트슬러리·몰탈되메움() 점토되메움(), 일반토사되메움(), 기타()					
	수질검사유무	연간수질검사횟수		회	신청인		
수질 현황	수질검사종류		수질검사결과		수질검사기관		수질검사일자
	1차:	합격(), 불합격()					
2차:	합격(), 불합격()						

- 1) 불용공 및 수질현황자료 조사는 해당되는 시설에 대해서만 실시함
- 2) 수질검사기관, 기준, 결과, 항목, 일자 등 검사내역에 관한 사항은 검사 횟수별로 기록

표 5-5. 시설물점검 체크리스트

구분	조건	점검내용 및 점검사항	확인	기록	확인결과 (이상유무)	비고	
시설물외 부	사진 등	양수장(양수장내 보호공 형태 - 있음/없음)					
		양수장(양수장 + 크린캡(육각렌치 사용))					
		웰캡(육각렌치 사용)					
		보호공 및 배전반 여부					
		전기시설 확인(양수시험 가능여부 판단)					
		지하수이용시설 안내문 설치 여부					
시설물내 부	사진 등	송수관로 파악(물탱크 위치 파악)					
		지하수이용시설 설치 전체 사진					
		웰캡인 경우 물탱크로 직접 송수되는지 파악					
		유량계 현 수치 기록 및 사진				기록	
		수위측정관 설치 여부(수위측정 여부 확인)					
		자연수위 측정 및 기록				기록	
	수중모터		펌프전압(220~380V) 확인				
			가동 시 펌프 회전 소리 파악				
					/	5~10분	기록
			가동 시 5분~10분 간격 경과 후 양수량 기록(20리터)		/	15~20분	기록
시설물내 부				/	25~30분	기록	
				/	5~10분	기록	
		가동 시 5분~10분 간격 경과 후 수위변화량 기록		/	15~20분	기록	
				/	25~30분	기록	
		압력계 작동 여부 및 압력게이지 기록				기록	
		출수장치(토출관 또는 수도꼭지) 여부					
		출수장치 확인시 송수관로 차단 후 출수장치로 토출 여부					
		토출 시 이물질 파악					
		시설물 내 배수구 여부					
		배전반 (분전반)	사진 등	양수장내 설치 여부			
보호공 및 웰캡인 경우 외부에 별도 설치 여부							
계량기 번호 및 수치기록						기록	
전원 확인(ON-가동, OFF-정지), 수동-정지-자동							
전원 확인 후 수동으로 가동시킬 것							
전압(220~380V 이상) 확인						기록	
전류(10~20A 이상) 확인						기록	
		물탱크 규모(톤) 및 수위 조절장치 설치 여부					
		향후 시설물 정비 시 장비투입 여부 확인(에어써징 가능한지 등)					
		기타사항 :	향후 정비사항 등 대책방안 제시				

○ 기타진단

- 관정재원: 농업기반시설등록부 및 지하수인허가 서류 대비 관정재원 비교
- 전기시설: 배전반(작동여부, 누전차단기, 전류, 전압), 수중모터, 전기계량기
- 배관시설: 유량계, 송수관로, 수위측정관 등
- 보호시설: 양수장옥, 관정보호공, 밀폐식 상부보호공 등

이용실태조사 시 청문조사를 실시하여 지하수 관정의 이력 및 문제점 등을 확인하여야 한다. 청문조사 대상자는 해당 공공관정 관리자, 공공관정을 이용하는 농어민, 공공관정이 소재한 마을의 대표(이장, 통장), 지자체 농업기반과 공무원 등 공공관정 이용과 관련있는 사람들이 될 수 있다. 청문조사 방법은 직접 방문하여 면담하거나 전화 또는 서면으로 조사할 수 있다. 청문조사에서 실시하는 내역은 아래와 같다.

- 청문조사: 이용자, 이용기간, 이용량, 재배작물, 미이용 시 사유, 개보수 내역, 관정 관리내역, 외부로 알려지지 않은 수량·수질 문제, 이용상의 문제점 등

다. 보고서 작성

문헌조사 및 현장 이용실태조사 결과를 종합적으로 평가하여 <기본진단 보고서>를 작성한다. 보고서는 지하수법 시행규칙 별지 제21호 서식을 포함하여 작성하되(표 5-6), 진단자의 진단결과 의견을 A4 규격용지를 이용하여 수 페이지 내로 덧붙인다. 그리고 진단자의 진단결과 의견을 객관화 할 수 있는 자료(인허가서류, 청문조사, 현장 수위, 토출량, 전기전도도 및 사진 등)를 부록으로 첨부하는 것을 원칙으로 한다.

- 보고서 주요 내용: 요약문, 문헌조사, 이용실태조사, 청문조사, 조사자 진단결과, 부록(첨부자료)

2. 세부진단

기본진단 결과 해당 공공관정이 지하수의 수량·수질에 문제가 있는 것으로 보고된 경우에는, 다음단계로 세부진단을 실시하여 세부적인 문제점을 파악한다. 세부문제점은 해당관정에 대한 점검정비(사후관리) 방법 선택 및 비용 산출을 위한 자료로서 활용된다. 세부진단 순서는 (i) 기본진단 분석, (ii) 수량·수질 진단, (iii) 보고서작성 순으로 실시된다. 세부진단이 시행된 공공관정은 사후관리시행 시 기본진단으로 종료된 관정보다 선순위 관정으로 조정가능하다. 이 경우 세부진단 시 수량·수질 문제가 드러난 관정이 전기·관정시설물 등에 문제가 발생된 관정보다 사후관리의 우선순위에 포함된다.

가. 기본진단 분석

문제가 발생된 관정에 대하여 특정한 문제점을 발견하기 위해 우선 기본진단 보고서에서 조사된 관정의 문제점을 검토한다. 이후 해당 문제점을 수량, 수질, 전기시설, 관정시설물 문제로 세분화하여 구분한다.

표 5-6. 지하수이용실태조사보고서(지하수법 시행규칙 별지 제21호서식)

[별지 제21호서식]

지하수이용실태조사보고서										
허가번호 (신고번호)	위치	이용자	용도	지하수개발·이용시설		지하 수위 (El.m)	양수 능력 (m ³ /일)	이용량 (m ³ /일)	수질 검사 결과	양수 설비
				깊이 (m)	직경 (mm)					
기재요령 1. 용도는 생활용수·공업용수·농어업용수·온천수·광천음료수·기타로 구분하여 작성합니다. 2. 수질검사결과는 지하수법시행령 제31조의 규정에 의한 수질검사결과에 따라 합격·불합격으로 기재합니다. 3. 양수설비는 동력장치제원 및 토출관직경 등을 기재합니다. 4. 허가 및 신고를 각각 구분하여 작성합니다.										

30302-14811보
97.7.9 승인

210mm×297mm
(일반용지 60g/m²)

나. 수량·수질 진단

현장에 직접 방문하여 아래와 같은 현장세부진단을 실시한다.

○ 수량 문제점 분석

- 대수성 시험(단계 및 장기양수시험) 시행 및 분석

- 대수성 시험은 단계양수시험과 장기양수시험으로 구분하여 실시
- 단계양수시험은 4~5단계로 구분하여 양수량을 증가시키며 진행하며, 매 단계 당 2시간 이상 시행
- 장기양수시험은 마지막 단계의 최대수량으로 16시간 이상 시행
- 단계 및 장기양수시험 시, 토출유량 조절은 주파수변조기 이용
- 단계 및 장기양수시험 시, 수위변화기록은 현장기록원에 수기기록과 자동수위측정기를 이용하여 동시에 기록
- 현장에서 산출된 데이터를 토대로 최대토출량, 임계양수량, 비수위강하량, 비양수량, 우물효율, 투수량 계수 등 산정, 문헌조사 내역과 비교

- 수중TV 검층

- 암반관정에서 과잉양수에 따른 지하수 고갈은 수량부족의 근본적인 문제
- 개발당시 시추주상도에 기재된 투수구간(균열면 위치)과 비교하여 지하수 수위가 어느 심도에 위치하는지에 대한 조사가 우선적으로 필요
- 만약 양수를 하지 않음에도 불구하고, 기록된 투수구간보다 지하수위가 저하되어 있고, 투수구간으로부터 공벽을 통해 지하수가 공 내로 흘러내리는 것이 확인되지 않는다면 해당 암반관정 주변의 지하수가 고갈된 것으로 판단 가능
- 공벽을 통해 유입되는 지하수가 발견될 경우, 상부케이싱의 손상 등을 통한 충전층 지하수의 유입인지도 파악 필요
- 이는 충전층지하수가 항구적인 수량을 제공하지 못하기 때문에 암반지하수 수량과는 구분되어야 하기 때문임
- 이러한 조사를 통해 수량 부족의 원인이 지하수 고갈에 근거한 것이 아니라고 판단된다면, 이 후 수량 부족의 문제가 관정 내부 이물질 충전에 따른 문제인지, 소유역 지하수자원의 고갈의 문제인지를 확인
- 이를 위해 양수시설을 인양하고 24시간 이상 정치 후 관정 내 수중TV 검층을 시행
- 녹화된 검층파일에서는 이물질이 상세히 보일 수 있도록 해상도를 최대한 높여 기록
- 수중TV 검층 시 공벽에 침전되어 있는 이물질 등의 심도 기록

○ 수질 문제점 분석

- 양수시설 인양 전 지하수 수질 검사를 실시하며, 분석을 위한 시료는 장기양수시험 시 채수
- 지하수 수질검사를 위한 시료는 채수 후 3시간 이내에 시도보건환경연구원 등 국가에서 지정한 먹는물 수질검사기관에 의뢰하여 분석(채수-보관-분석에 관한 정도관리 시행)
- 지하수 수질검사를 위한 분석항목은 기본적으로 농어업용 지하수 수질항목 분석 및 평가(농어업용 지하수 수질기준에 의해 평가)
- 기본진단 및 수중TV 검층 결과를 토대로, 미생물 증식, 오염물질 유입, 대수층 변화에 따른 충전현상 및 부식에 영향을 미치는 등을 살펴보기 위해 특정분석항목(예: 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 암모니아성질소, 과망간산칼륨소비량, 철, 망간, 탁도, 색도 등)을 각 관정의 특성에 맞게 분석(농어업용 지하수 수질 기준에 포함이 안되는 경우, 국내외 타 수질 기준 적용)
- 양·음이온 분석이 추가된 시료는 MINTEQA2(Allison et al., 1990) 및 WATEQ4F(Ball and Nordstrom, 1991) 등의 데이터베이스를 이용한 PHREEQCI(Charlton et al., 1997) 지화학 모델링 프로그램을 이용하여 결정질 내지 비정질 2차광물의 포화지수(saturation index)를 산출 가능
- 대수층 공극 및 우물자재 스크린 등에 어떠한 2차광물이 침전하여 충전될 수 있고, 이 침전물이 공내 유입수량을 감소시키는 역할을 할 수 있는지 등을 추정 가능

○ 기타 관정시설 문제점 확인

- 계량기, 수위측정관, 수도꼭지, 관정보호 시설 등 파손된 부분이 발견될 경우 수리비용(교체비용) 산정

- 배전반 등 전기상태 등을 확인하고, 전기인입이 되었음에도 불구하고 시설물 작동이 불가할 경우 전기시설물 점검비용 산정
- 양수장옥 외벽, 출입문, 입간판 등 외관진단 및 보수비용 산정

다. 보고서 작성

현장시험 결과를 종합하여 <세부진단 보고서>를 작성한다. 세부진단 보고서에는 지하수 수량, 수질, 관정시설 등 각 항목진단에 대한 상세한 진단내용과 진단자의 진단결과 의견을 A4 규격용지에 수십 페이지 내로 작성한다. 그리고 진단자의 진단결과 의견을 객관화 할 수 있는 자료(대수성 시험, 수중TV 검층, 수질검사, 관정시설물 검사 등)을 포함하는 것을 원칙으로 한다. 그리고 각 진단결과에 따른 적정 사후관리 요령이 기재되어야 한다.

- 보고서 주요 내용: 요약문, 수량 세부진단 결과, 수질 세부진단 결과, 관정시설물 세부진단 결과, 해당관정 최적 사후관리 방안에 대한 진단자 종합의견, 부록(첨부자료)
- 수량에 대한 세부진단 결과
 - 첫째, 수중TV 검층으로 미생물, 충전물질 등이 발견되었을 경우, 관정내부자재 세척에 대한 최적사후관리 방법 제시
 - 둘째, 수중TV 검층으로 문제점 미발견의 경우, 대수성 시험(단계 및 장기양수시험 결과)와 연계하여 대수층 균열막힘에 대한 최적사후관리 방법 제시
 - 셋째, 수중TV 검층으로 문제점이 미 발견되었을 경우, 수중모터 기능, 수중모터 부식 및 침전물, 수중모터 역전압 등 확인 및 수중모터 인양 및 최적 세척방법 제시
 - 넷째, 만약 수계(용수구역)의 전반적인 지하수 수량 감소라고 판단되면 지하수영향조사서 등을 참고하여 수계(용수구역)의 지하수 고갈 및 사후관리가 필요 없음을 제시
- 수질에 대한 세부진단 결과
 - 첫째, 수중TV 검층으로 미생물 증식 등이 발견되었을 경우, 소독제 투여량 및 투여방법 등 제시: 소독제 투여량은 “수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙”에 의거 아래의 (식 5-1)을 적용

$$V = Q \times R \times \frac{100}{C} \times \frac{1}{d} \times 10^{-3}$$

(식 5-1)

V: 소독제 용적주입량(L)

Q: 처리수량(m³/hour)

R: 염소주입률(mg/L)

C: 유효염소농도(%)

d: C%일때의 밀도(kg/L)

- 둘째, 수중TV 검층으로 문제점 미발견의 경우, 외부오염물질의 유입에 의한 지하수 수질항목(과망간산 칼륨소비량, 총대장균군, 분원성대장균군, 질산성질소, 철, 망간 등) 확인 및 최적세척방법, 외부오염물질 차단에 대한 방법 제시(특히 대장균군 과다 관정에 대해서는 상단부 그라우팅 재시공 등 방법 적용 고려)
- 셋째, 탁도 및 색도 문제(모래 등 토사물질의 유입) 발생 및 수중TV 검층결과 내부자재 파손 등이 발생하였을 경우, 내부자재 교체 및 토사제거에 적합한 사후관리 방법 제시
- 넷째, 우물자재 부식이 확인되었을 경우, 자재교체 및 산소가 아닌 펄스, 질소기체 등을 이용한 사후관리 방법 제시
- 관정 시설물에 대한 세부진단 결과
 - 전기배전반, 관정시설물 외관 등에 문제가 발생한 경우, 시설물 개보수 및 교체 시행 방법 제시
- 최적 사후관리 방법 제시
 - 진단자의 종합적인 판단하에 해당관정에 대한 최적 사후관리 방법 제시

3. 점검정비(사후관리) 시행

세부진단 보고서에서 제시된 사후관리 방법을 적용한다. 사후관리 방법 적용 시 기존 기술 및 특허 등 지적재산권을 검토하여, 해당 지적재산권의 침해여부를 사전에 검토한다. 만약, 세부진단 보고서에 여러 사후관리 방법이 제시되었다면, 경제성을 고려하여 저비용·고효율의 방법을 적용하되, 적용 시 주변 소음, 분진 등에 따른 민원을 동시에 고려하여야 한다. 사후관리방법은 본 보고서의 제4장에 기재된 바와 같다.

사후관리 시행 종료 후에는, 사후관리 이전에 시행했던 세부진단 방법을 동일하게 적용하여 사후관리에 따른 관정 개선능을 평가해야 한다. 세부진단 방법과 관정개선능 평가는 5장 3절에 기재된 내용을 준수한다.

4. 유지관리 진단

지하수 수량·수질의 안정적인 확보를 위해, 법적 주기(5년/회)의 정기 점검 이외에 짧은 주기로 점검정비를 실시하는 방안 도입도 고려할 수 있다. 이는 원위치(in-situ) 상태에서 최저비용으로도 지하수 비양수량을 일정하게 확보할 수 있는 방안으로, 장기적으로도 관정 개발당시의 비양수량을 꾸준히 유지할 수 있도록 한다. 이를 위해 원위치 관정정비 장치를 이용하여, 관정개발 당시 비양수량 회복 등에 대한 확인이 필요하다. 유지·관리 진단은, 사후관리 시행 후 매 1개월, 3개월, 6개월 등 주기성을 띄고 시행하며, 기본진단의 수량 및 수질진단 방법에 준하여 시행한다. 만약 유지·관리 진단 시행 중 새로운 문제점이 발견되면, 그 문제점에 대한 최적 사후관리 방안을 찾아 즉시 적용토록 한다.

제4절 결론

기능이 저하된 농어업용 공공관정의 재생이용은 기후변화 및 농작물 생산변화에 따라 증가하는 지하수 수요에 부응하는 가장 경제적이고 환경친화적인 방법으로 판단된다. 그러나 개별 공공관정에 대한 과학적인 사전 진단절차 없이 획일적인 사후관리 방법의 적용과 우선순위 미지정은 수자원의 최적 관리 측면에서 비효율적이다. 이 연구에서는 설치시기가 오래된 기설 농어업용 공공관정에 대하여 과학적이고 체계적인 4단계(기본 진단, 정밀진단, 사후관리, 유지관리) 기능진단 표준화(안)을 제시하여 농어업용 공공관정 재생이용에 활용토록 도모하였다. 지하수 재생이용과 농어촌 용수구역별 지하수 수리권을 과학적으로 맞물려 해석한다면, 가뭄 대비 및 시설농업단지의 안전농산물 생산에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

제6장 관정정비 효과의 정량적 평가 기술

농어업용 공공관정의 정비 효과를 정량적으로 분석하기 위하여, 개발 후 일정기간이 경과한 시설 관정에 대하여 우물소독 및 에어써징을 이용한 세척 전후에 수량 및 수질 변화에 대한 정량적인 평가를 수행하였다. 수량의 경우 제3장에서 제시된 다양한 해석 방법을 적용할 수 있는데, 본 장에서는 단계양수시험 결과 해석의 표준화에 대한 기술을 제시하였으며, 이를 토대로 한국농어촌공사(1997)에 수록된 자료들을 이용하여 우물효율 변화량과 임계 양수량(critical yield)을 이용한 개발 가능량 증가를 정량적으로 평가하였다. 또한 우물소독 및 우물세척이 지하수 수질 변화에 미치는 영향을 분석하기 위하여 정비작업 전후에 먹는물 수질기준의 수질분석과, 지하수 주성분과 부성분 이온분석을 실시하여 각 경우의 결과를 비교·분석하였다. 이를 위해 우물소독 후 에어써징을 이용한 우물세척 전후에 단계양수시험을 통해 얻어진 결과를 이용하여 우물효율을 산출하여 비교하였으며, 처리 전후에 임계 양수량을 비교하여 개발 가능량의 증대 여부를 정량적으로 평가하였다.

제1절 단계양수시험 자료의 해석 기술

본 연구에서 이용된 단계양수시험(step-drawdown pumping test)은 양수에 의해 대수층으로부터 직접 유입되는 정류(laminar flow)와 우물자재와 공벽 사이에 있는 충전용 자갈을 통과한 난류(turbulent flow)에 의해 발생하는 수두손실(head loss)을 산출하기 위하여 Cooper and Jacob(1946)에 의해 피압대수층에 적용되었던 대수층 시험법이다. 일반적으로 단계양수시험은 단공시험으로 일정한 시간 간격으로 양수량을 증가시켜가며 관정의 수위변화 혹은 수위강하를 관측함으로써 관정의 효율과 대수층의 생산성을 평가할 수 있는 방법으로 (Kruseman and de Ridder, 1990), 단계별 양수량 증가에 대해 각 단계별로 수위강하를 측정·분석하고, 이 결과를 토대로 특정 양수량에 대한 정류와 난류의 상대적인 비율을 예측할 수 있다. 이러한 단계양수시험은 실무적으로 각 단계에서 관정 내 지하수위가 안정될 때까지 양수하는 경우(pseudo steady-state, 기본적으로 안정수위를 확보하도록 권장하며 각 단계의 양수시간은 다를 수 있음)와 안정되지 않은 천이(transient) 상태에서 다음 양수량 단계로 넘어가기도 하므로, 해석 시 각별한 주의가 요구된다.

현장에서 획득한 단계양수시험 자료를 해석하는 경우, 단계별로 양수량 증가분을 일정하게 하는 경우와 단계별 시간 간격을 일정하게 하는 경우를 토대로, 시험 자료를 해석하는데 필요한 개념모델의 적용 사례를 비교하여 해석 시 문제점을 제시할 수 있다(그림 6-1). <그림 6-1(a)>의 경우 단계양수시험의 정의에 따라 양수정의 수위가 안정되는 가장 이상적인 경우로 각 단계의 양수지속시간이 다르더라도 해석결과에 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 그러나 나머지 3가지 천이상태 <그림 6-1(b),(c),(d)>는 흔히 현장에서 발생하는 경우로 양수정의 수위가 안정되지 않았을 경우에는 해석결과에 차이가 발생하게 된다. 실제로 대표적인 4가지의 해석 개념 중 3가지 <그림 6-1(a),(c),(d)>에는 문제가 적으나, <그림 6-1(b)>와 같이 해석하는 경우에는 올바르게 해석된 결과와 비교했을 때 큰 차이를 유발할 수 있다.

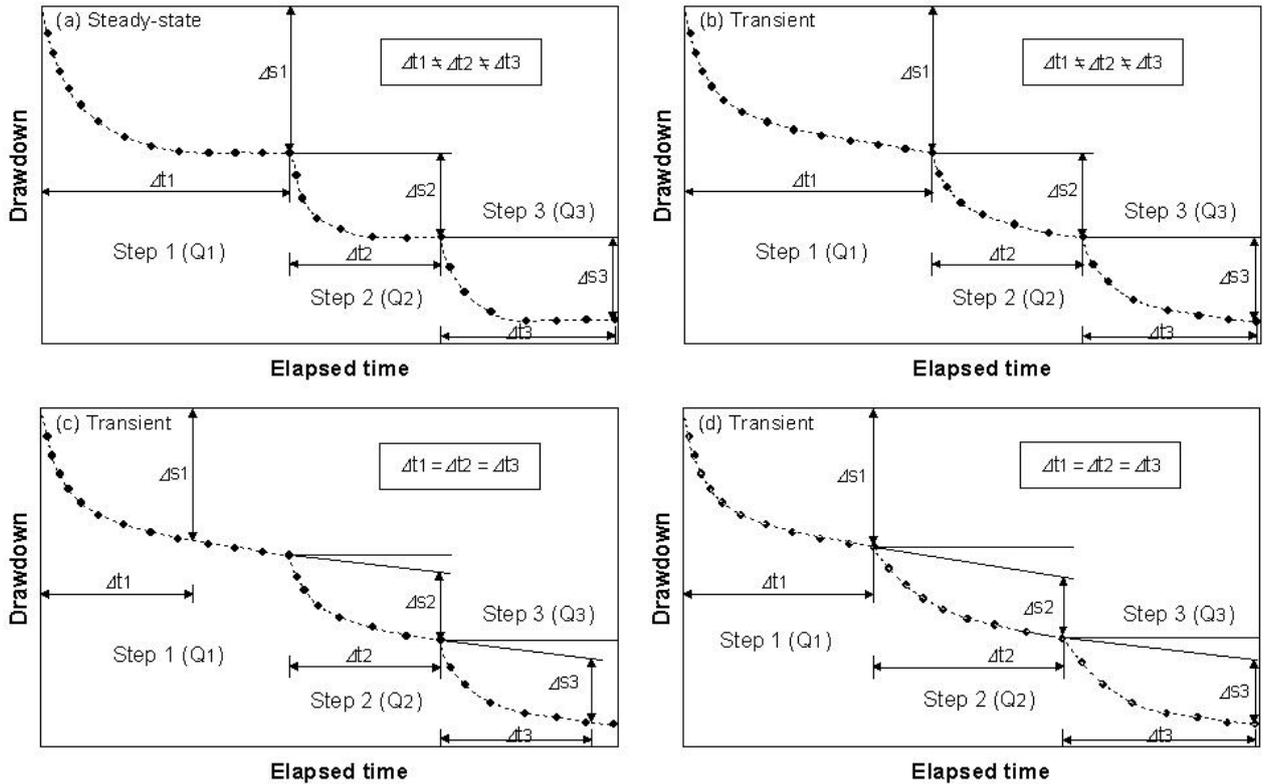


그림 6-1. 단계양수시험 자료 해석을 위한 개념적 접근 방법(이진용 등, 2005)

일반적으로 효율이 최대인 피압대수층 내의 관정이 정류상태인 경우 수위강하는 (식 6-1)과 같다. 이 식은 수위강하가 대수층의 두께에 비해 상대적으로 작은 자유면대수층의 경우에 대해서도 적용될 수 있다.

$$s = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{(2.25Tt)}{r^2S} \quad \text{[식 6-1]}$$

여기서 s 는 수위강하(m), Q 는 양수량(m^3/min), T 는 대수층의 투수량 계수(m^2/min), t 는 양수시간(min), r 는 양수정으로부터 영향추까지의 거리(m), S 는 대수층의 저류계수이다. (식 6-1)은 우물 케이싱 내부(예, $r = r_w$, r_w 는 관정의 반경)에서의 수위강하를 나타낼 때는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$s_w = BQ \quad \text{[식 6-2]}$$

여기서 s_w 는 수위강하량(m), B 는 대수층 상수(aquifer coefficient)로 대수층 내에서 층류에 의한 수두손실이다. 그러나 지하수의 흐름이 스크린을 통과하면서 큰 수두구배에 의한 난류가 발생하는 경우에는 Darcy의 법칙을 적용한(식 6-2)를 이용하는 경우 정확한 수위강하량을 계산할 수 없으므로, Jacob(1947)은 수위강하량을 층류에 의한 대수층 손실(BQ)과 난류에 의한 우물 손실(CQ^2)의 합으로 제시하였다.

$$s_w = BQ + CQ^2$$

[식 6-3]

여기서 C 는 우물 상수(well coefficient)로 스크린을 통과한 난류에 의한 수두손실이다. 한편 Rorabaugh(1953)는 피압대수층내의 수위강하는 스크린, 공벽 및 케이싱 내에서 일어나는 우물손실의 합으로 정의하였으며, 정류인 경우는 $s_w = BQ + CQ$ 이고, 난류인 경우는 $s_w = BQ + CQ^n$ 으로 제시하였다. 여기서 n 은 난류의 정도를 나타내는 지수로 Rorabaugh(1953)는 n 을 2.43~2.82 범위로, Jacob(1947)은 $n=2$ 로 정의하였다. Bierschenk(1963)는 대수층손실율(B)와 우물손실율(C)를 graphical method를 이용하여 산출하였다.

본 연구에서 단계양수시험은 대상관정에 대하여 우물소독 및 우물세척 전후에 실시하여 관정의 수두손실과 우물효율을 산출하였는데, 관정 효율은 단계양수시험에서 각 단계별 양수량과 비수위강하량을 구하고, 이를 기초로 대수층 손실계수(B)와 우물 손실계수(C)에 의해 계산될 수 있다. B 와 C 값은 단계별 양수량과 비수위강하량을 기초로 계산에 의해 구할 수 있으며, B 와 C 의 값으로부터 우물효율(E_w)은 (식 6-4)를 이용하여 구하였다.

$$E_w = \frac{100}{[1 + (C/B)Q]}$$

[식 6-4]

제2절 단계양수시험 현장자료 해석

단계양수시험 현장자료 해석은 한국농어촌공사(1997)와 한국농어촌공사(2005)에서 제시된 농어업용 관정 중 기 사용 중인 4개의 관정들을 대상으로, 우물소독과 에어써징 실시 전후에 각각 실시한 시험 결과에 대하여 적용하였다(표 6-1). 각 관정은 1990년대 중반 이후에 개발된 3개의 암반관정과 2000년에 개발된 2개의 암반관정으로, 외부케이싱과 우물자재의 직경은 각각 250mm와 200mm이다. 관정심도는 62~100m 범위의 피압대수층으로, 양수량은 150m³/일 이상으로 단계양수시험을 적용하는데 적합한 조건이다.

표 6-1. 대상지역 관정 현황

관정명	SH	HW	YP	SS
개발년도	2000	1993	1998	1994
외부케이싱	250mm	250mm	250mm	250mm
우물자재	200mm	200mm	200mm	200mm
심도	100m	62m	102m	100m
양수량	155m ³ /일	327m ³ /일	250m ³ /일	150m ³ /일
용도	농어업용	농어업용	농어업용	농어업용

1. SH 관정

SH관정은 시험 당시 개발된 후 약 3년이 경과되어 상대적으로 우물효율이 높을 것으로 예상된 농어업용 관정으로, 우물소독 및 에어써징을 이용한 우물세척 전후에 각각 6단계의 단계양수시험을 실시하여 결과를 분석하였다. 이때 우물소독은 약 24시간 동안 염소소독제인 차아염소산칼슘(Ca(OCl)₂) 30g을 투여하였으며, 우물세척은 이후 공기압축기를 이용하여 수행하였다. 단계양수시험 시 양수량은 처리 전후에 각각 50, 70, 90, 110, 130 및 150m³/일로 실시하였으며, 각 단계별로 시험시간의 차이를 주어 앞서 제시한 <그림 6-1(c)>의 경우로 각 단계별 수위강하량을 계산하여 해석코자 하였다(표 6-2),(표 6-3).

표 6-2. SH 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전)

[단위: m]

단계별 경과시간 (분)	1단계 (50m ³ /일)	2단계 (70m ³ /일)	3단계 (90m ³ /일)	4단계 (110m ³ /일)	5단계 (130m ³ /일)	6단계 (150m ³ /일)
1	1.039	6.628	10.166	14.540	20.179	26.179
2	1.838	7.090	10.955	15.183	20.765	27.014
3	2.415	7.445	11.253	15.558	21.283	27.725
4	2.867	7.753	11.503	15.827	21.715	28.310
5	3.223	8.013	11.695	16.019	22.109	28.857
6	3.502	8.224	11.858	16.173	22.445	29.327
7	3.714	8.397	11.983	16.413	22.733	29.740

표 6-2. SH 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전)(계속)

(단위: m)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (50m ³ /일)	2단계 (70m ³ /일)	3단계 (90m ³ /일)	4단계 (110m ³ /일)	5단계 (130m ³ /일)	6단계 (150m ³ /일)
8	3.896	8.542	12.118	16.644	22.992	30.104
9	4.060	8.667	12.339	16.826	23.194	30.354
10	4.185	8.772	12.598	16.999	23.396	30.546
12	4.416	8.945	12.848	17.287	23.732	31.045
14	4.570	9.070	13.060	17.480	23.981	31.409
16	4.704	9.176	13.213	17.643	24.183	31.716
18	4.801	9.253	13.329	17.758	24.346	31.918
20	4.878	9.330	13.425	17.873	24.500	32.186
25	5.224	9.445	13.588	18.046	24.768	33.232
30	5.926	9.541	13.704	18.171	24.951	34.037
35	5.887	9.618	13.771	18.267	25.085	34.689
40		9.676	13.838	18.402	25.191	
45		9.715	13.886	18.469	25.287	
50		9.772	13.934	18.536	25.364	
55		9.801	13.973	18.604	25.431	
60		9.820	14.011	18.844	25.488	
70		9.878	14.078	19.074		
80			14.117	19.170		
90				19.247		

표 6-3. SH 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후)

(단위: m)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (50m ³ /일)	2단계 (70m ³ /일)	3단계 (90m ³ /일)	4단계 (110m ³ /일)	5단계 (130m ³ /일)	6단계 (150m ³ /일)
1	1.068	5.994	9.946	14.925	20.410	25.921
2	1.848	6.417	10.600	15.501	21.149	26.833
3	2.454	6.840	11.119	15.981	21.620	27.620
4	2.993	7.234	11.532	16.375	22.004	28.243
5	3.406	7.561	11.888	16.702	22.330	28.752
6	3.733	7.831	12.186	16.990	22.618	29.184
7	4.012	8.052	12.436	17.240	22.868	29.539
8	4.224	8.225	12.637	17.451	23.098	29.846
9	4.407	8.398	12.801	17.644	23.300	30.105
10	4.542	8.542	12.955	17.797	23.473	30.345
12	4.744	8.773	13.214	18.076	23.780	30.719

표 6-3. SH 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후) (계속)

(단위: m)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (50m ³ /일)	2단계 (70m ³ /일)	3단계 (90m ³ /일)	4단계 (110m ³ /일)	5단계 (130m ³ /일)	6단계 (150m ³ /일)
14	4.888	8.946	13.416	18.287	24.030	31.016
16	5.013	9.071	13.550	18.460	24.203	31.189
18	5.109	9.177	13.695	18.595	24.385	31.410
20	5.186	9.273	13.810	18.700	24.510	31.601
25	5.349	9.427	14.021	18.911	24.779	32.062
30	5.446	9.532	14.146	19.075	24.961	32.369
35	5.513	9.619	14.252	19.171	25.095	32.580
40	5.561	9.696	14.348	19.267	25.201	32.839
45	5.571	9.744	14.415	19.344	25.306	33.213
50		9.802	14.483	19.411	25.393	33.597
55		9.840	14.531	19.469	25.460	33.894
60			14.588	19.526	25.527	34.095
70			14.665	19.603		34.527

〈그림 6-2〉는 양수정의 수위가 조금씩 하강하고 있는 천이상태로 앞서 제시된 〈그림 6-1(c)〉와 마찬가지로 각 단계별로 변화하는 수위를 외삽하여 각 단계별 수위강하량을 계산하여 적용하였다.

〈표 6-2〉와 〈표 6-3〉에서 제시한 바와 같이 각 단계별 양수 지속시간이 다르기 때문에, 각 시험에서 얻은 가장 짧은 지속시간으로 처리전후에 각각 35분과 45분으로 단계양수시험 자료를 해석하였다.

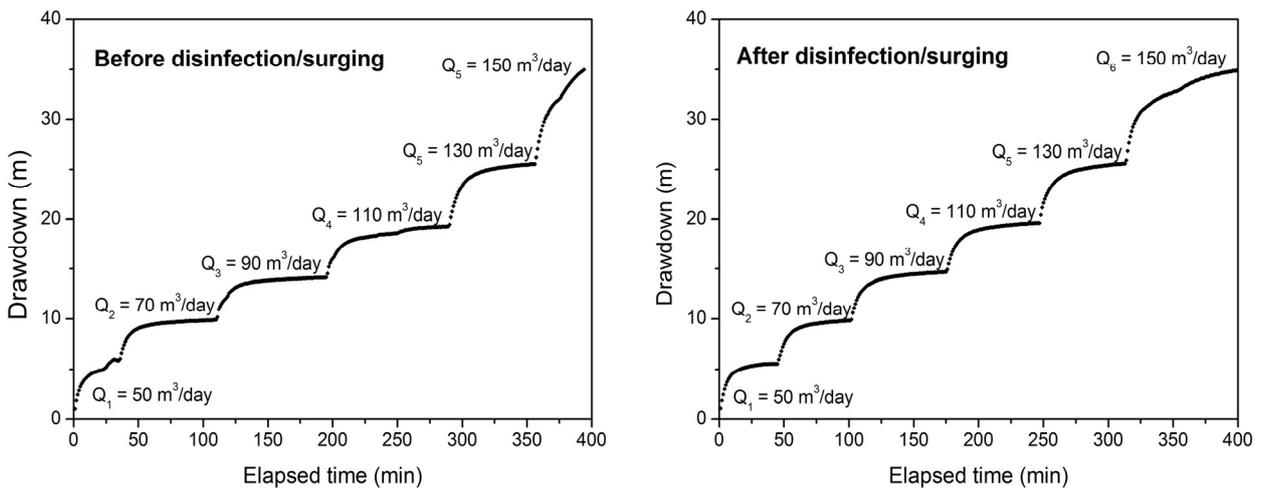


그림 6-2. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과

각 단계의 수위강하량(Δs_w)은 처리 이전에는 각각 6.061, 3.228, 3.440, 3.887, 5.614m이며, 처리 이후에는 각각 5.571, 3.744, 4.015, 4.044, 5.106m로 나타났다(표 6-4). 상수 B와 C를 계산하기 위해 Bierschenk(1964)의

방법으로 비수위강하량(s_w/Q) 대비 양수량(Q)의 그래프에 도시한 결과 선형회귀직선은 우물세척 이전에는 $s_w/Q = 0.000589Q + 0.0904$, 우물세척 이후에는 $s_w/Q = 0.000739Q + 0.0782$ 로 그리고 결정계수는 0.99로 나타났다(그림 6-3).

표 6-4. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과

이전	Δs_w (m)	s_w (m)	Q (m ³ /day)	s_w/Q (day/m ²)	B	C	E_w^*	Δt (min)
Step 1	6.061	6.061	50	0.1212			75.1	35
Step 2	3.228	9.289	70	0.1327			68.3	35
Step 3	3.440	12.729	90	0.1414	0.0904	0.00059	62.6	35
Step 4	3.887	16.616	110	0.1511			57.8	35
Step 5	5.614	22.230	130	0.1710			53.7	35
이후	Δs_w (m)	s_w (m)	Q (m ³ /day)	s_w/Q (day/m ²)	B	C	E_w^*	Δt (min)
Step 1	5.571	5.571	50	0.1114			69.1	45
Step 2	3.744	9.315	70	0.1331			61.4	45
Step 3	4.015	13.330	90	0.1481	0.0782	0.00074	55.4	45
Step 4	4.044	17.374	110	0.1579			50.4	45
Step 5	5.106	22.480	130	0.1729			46.7	45

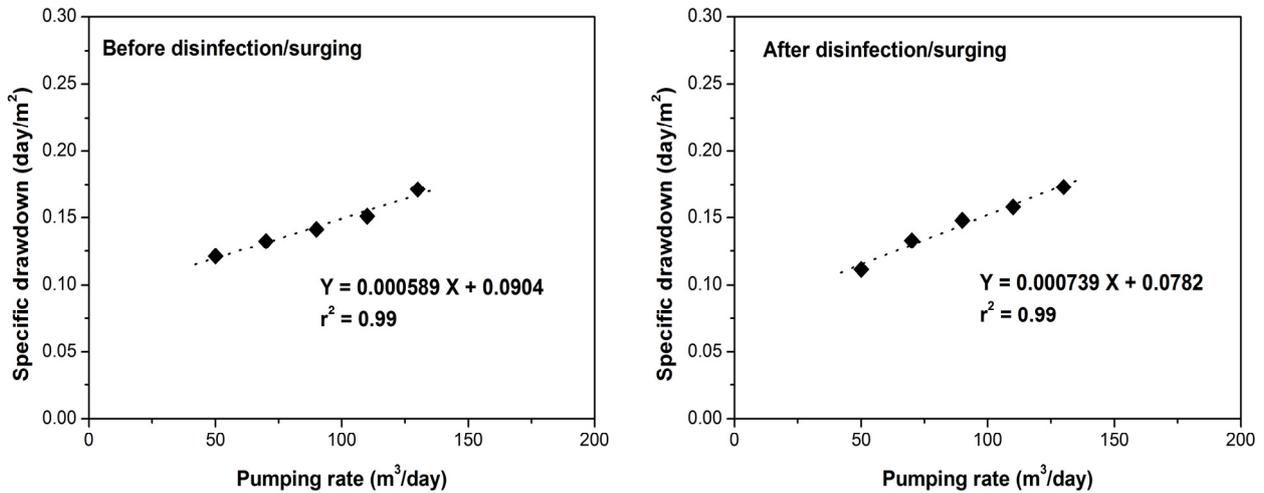


그림 6-3. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 대수층 및 우물손실계수 산출

이러한 결과를 바탕으로 우물세척 전후의 각 양수량 별로 우물효율을 산출하면, 우물세척 이전의 경우 53~75%로 비교적 높게 계산되었으며, 우물세척 이후에는 46~69%의 범위로 상대적으로 낮아진 결과가 나타나는데, 이는 본 관정의 경우는 개발 후 경과 기간이 짧아 우물소독 및 세척의 영향이 실제로 크게 나타나지 않는 것으로 판단된다.

〈그림 6-4〉는 임계양수량 산출을 위하여 본 지역의 관정에 대하여 단계양수시험 자료를 도시한 결과로 우물

세척 이전의 경우 약 85m³/일이며, 처리 이후에는 약 78m³/일로 약간 감소되는 결과가 나타나는데, 이는 우물 효율 계산 결과와 마찬가지로 관정 개발 이후 경과시간이 짧기 때문에 우물세척의 효과가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

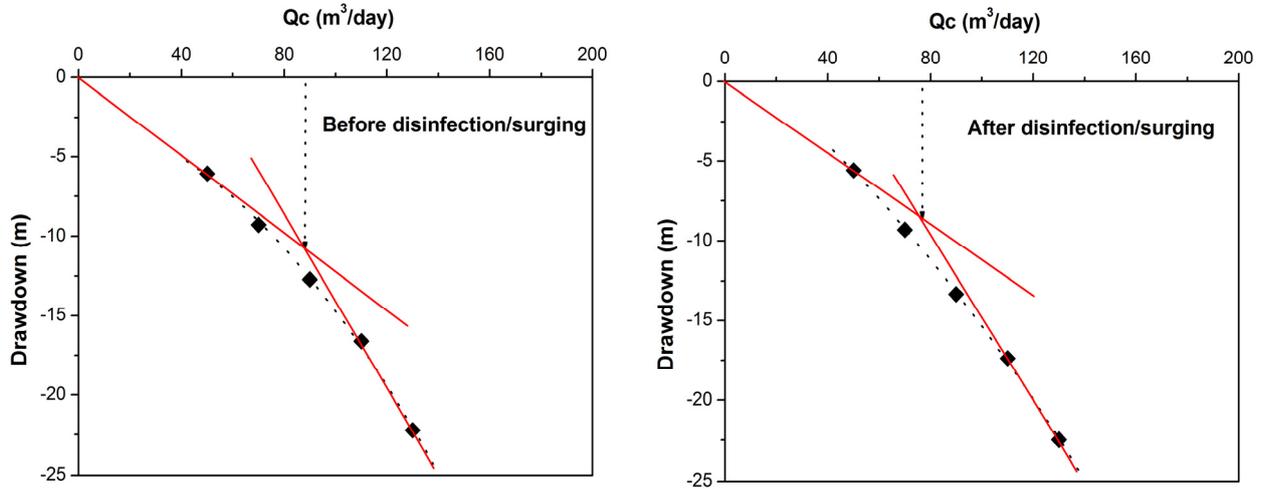


그림 6-4. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 임계양수량 산출 결과

2. HW 관정

HW 관정은 개발된 후 약 10년이 경과된 농어업용 관정으로, 우물소독 및 에어써징을 이용한 우물세척 전후에 각각 3단계와 4단계의 단계양수시험을 실시하여 결과를 분석하였다. 우물소독은 약 24시간 동안 SH 관정과 동일한 염소소독제 30g을 투입하였으며, 우물세척은 이후 공기압축기를 이용하여 수행하였다. 단계양수시험 시 양수량은 처리 이전에는 100, 150 및 200m³/일로 실시하였으며, 처리 이후에는 100, 150, 200 및 300m³/일로 각 단계별로 120분 씩 동일시간으로 수행하였다(표 6-5),(표 6-6),(그림 6-5).

표 6-5. HW 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=100m ³ /일)	2단계 (Q=150m ³ /일)	3단계 (Q=200m ³ /일)
1	0.024	1.247	2.518
2	0.048	1.319	2.805
3	0.072	1.463	3.021
4	0.120	1.463	3.021
5	0.192	1.559	3.117
6	0.312	1.655	3.237
7	0.360	1.703	3.261
8	0.360	1.775	3.285
9	0.408	1.799	3.309

표 6-5. HW 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전) (계속)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=100m ³ /일)	2단계 (Q=150m ³ /일)	3단계 (Q=200m ³ /일)
10	0.432	1.822	3.333
12	0.528	1.822	3.381
14	0.576	1.846	3.429
16	0.576	1.894	3.429
18	0.624	1.918	3.453
20	0.648	1.942	3.501
25	0.696	1.966	3.573
30	0.767	1.966	3.573
35	0.767	2.014	3.645
40	0.839	2.038	3.669
45	0.839	2.062	3.669
50	0.887	2.086	3.693
60	0.911	2.086	3.764
80	0.935	2.110	3.740
100	1.055	2.134	3.812
120	1.079	2.254	3.836

표 6-6. HW 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=100m ³ /일)	2단계 (Q=150m ³ /일)	3단계 (Q=200m ³ /일)	4단계 (Q=300m ³ /일)
1	0.505	1.828	2.934	4.761
2	0.529	1.948	3.126	5.050
3	0.625	1.972	3.222	5.434
4	0.673	2.068	3.270	5.579
5	0.697	1.996	3.391	5.699
6	0.745	2.044	3.391	5.795
7	0.745	2.164	3.439	5.891
8	0.817	2.164	3.487	5.963
9	0.769	2.188	3.391	5.987
10	0.793	2.164	3.487	6.011
12	0.914	2.236	3.511	6.083
14	0.962	2.164	3.583	6.228
16	0.986	2.260	3.607	6.300
18	1.058	2.309	3.607	6.252

표 6-6. HW 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후) (계속)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=100m ³ /일)	2단계 (Q=150m ³ /일)	3단계 (Q=200m ³ /일)	4단계 (Q=300m ³ /일)
20	1.058	2.260	3.703	6.300
25	1.082	2.333	3.703	6.468
30	1.130	2.333	3.727	6.540
35	1.202	2.381	3.751	6.516
40	1.178	2.357	3.823	6.516
45	1.250	2.260	3.823	6.636
50	1.274	2.429	3.823	6.684
60	1.298	2.453	3.847	6.732
80	1.323	2.525	3.872	6.829
100	1.347	2.525	3.896	6.877
120	1.371	2.525	3.920	6.901

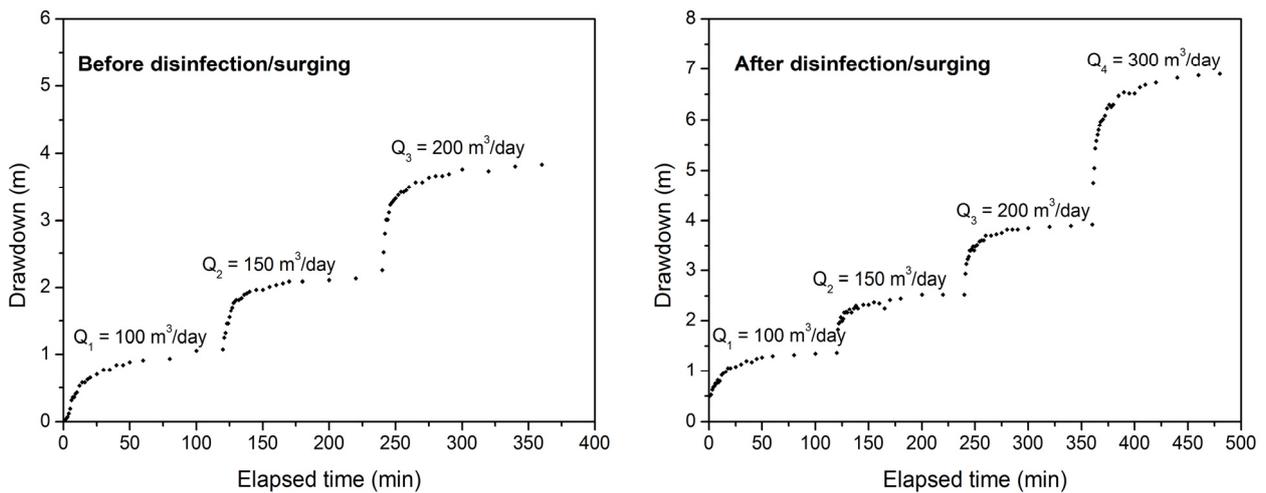


그림 6-5. HW 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과

이때 각 단계의 수위강하량(Δs_w)은 우물세척 이전에 1.079, 1.175, 1.582m이며, 우물세척 이후에는 1.371, 1.154, 1.395, 2.981m로 나타났다(표 6-7). 우물효율 관련상수 B와 C를 계산하기 위해 Bierschenk(1964)의 방법을 이용하여 양수량과 비수위강하량(s_w/Q)의 관계를 <그림 6-6>에 도시하였다. 도시한 결과 양수량과 비수위강하량의 관계에 대한 선형회귀직선은 우물세척 이전에는 $s_w/Q = 0.00008Q + 0.0024$ 이며 결정계수(r^2)는 0.99였다. 또한 우물세척 이후에는 $s_w/Q = 0.00005Q + 0.0097$ 로 그리고 결정계수는 0.99로 나타났다.

표 6-7. HW 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과

이전	Δs_w (m)	s_w (m)	Q (m ³ /day)	s_w/Q (day/m ²)	B	C	E_w^*	Δt (min)
Step 1	1.079	1.079	100	0.01079			23.1	120
Step 2	1.175	2.254	150	0.01503	0.0024	0.00008	16.7	120
Step 3	1.582	3.836	200	0.01918			13.0	120
이후	Δs_w (m)	s_w (m)	Q (m ³ /day)	s_w/Q (day/m ²)	B	C	E_w^*	Δt (min)
Step 1	1.371	1.371	100	0.01371			65.9	120
Step 2	1.154	2.525	150	0.01683	0.0097	0.00005	56.4	120
Step 3	1.395	3.920	200	0.01960			49.2	120
Step 4	2.981	6.901	300	0.02300			39.3	120

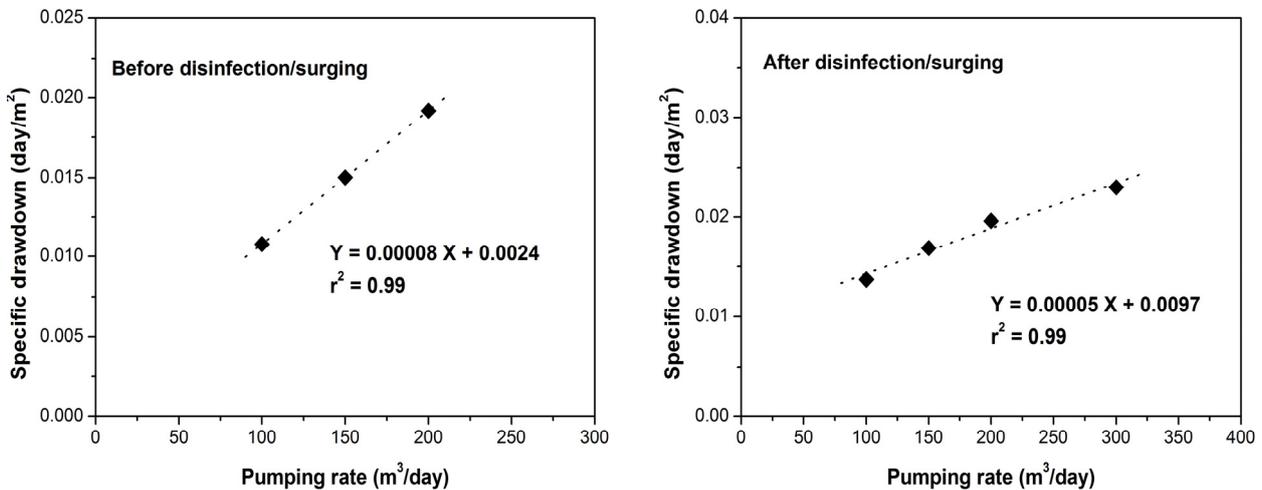


그림 6-6. HW 관정에 대한 우물세척 전후의 대수층 및 우물손실계수 산출

단계양수시험 결과 우물손실계수는 우물세척 및 우물소독 이전에 비해 낮아지는 것으로 나타남에 따라, 스크린을 막고 있는 이물질이 효과적으로 제거되었음을 확인할 수 있었다. 그러나 대수층 손실계수의 경우는 오히려 증가되는 것으로 나타나는데, 이는 처리 이후 최초 단계의 비수위강하량이 다음 단계의 증가량에 비해 상대적으로 크게 나타난 영향을 반영한 것으로 처리 전후의 대수층 조건이 앞서 Rorabaugh(1953)가 제시한 일반 식인 $s_w = BQ + CQ^n$ 에서의 n 값의 변화가 반영된 것으로 판단된다.

우물효율 (E_w)은 우물세척 전후에 각 단계별로 약 2.9~3.8배 상승한 결과가 나타나는데, 이러한 결과는 우물소독제 투입 이후 우물세척 방법이 우물의 효율을 크게 향상시킨 것으로 판단된다. 이러한 효과는 우물세척으로 스크린의 간극을 메우고 있던 이물질이 제거되었고, 점토나 가는 모래 또는 화학적 침전에 의해 막혔던 공벽이 풀리거나 스크린 부분을 통과할 때 발생된 난류의 형성, 유속의 증가 및 응결작용으로 인한 가스제거에 의한 것으로 판단된다. 또한 우물소독 및 우물세척에 의한 우물효율 증가와 더불어 투수량계수가 처리이전의 0.01409m³/min에서 이후 0.01954m³/min로 증가되는 결과가 나타났다.

임계양수량 산출을 위하여 본 관정에 대하여 단계양수시험 결과를 해석하면 우물세척 이전의 경우 약 120m³/일이며, 처리 이후에는 약 130m³/일로 증가되어 약 8%의 수량 증대 효과가 있는 것으로 분석되었다.

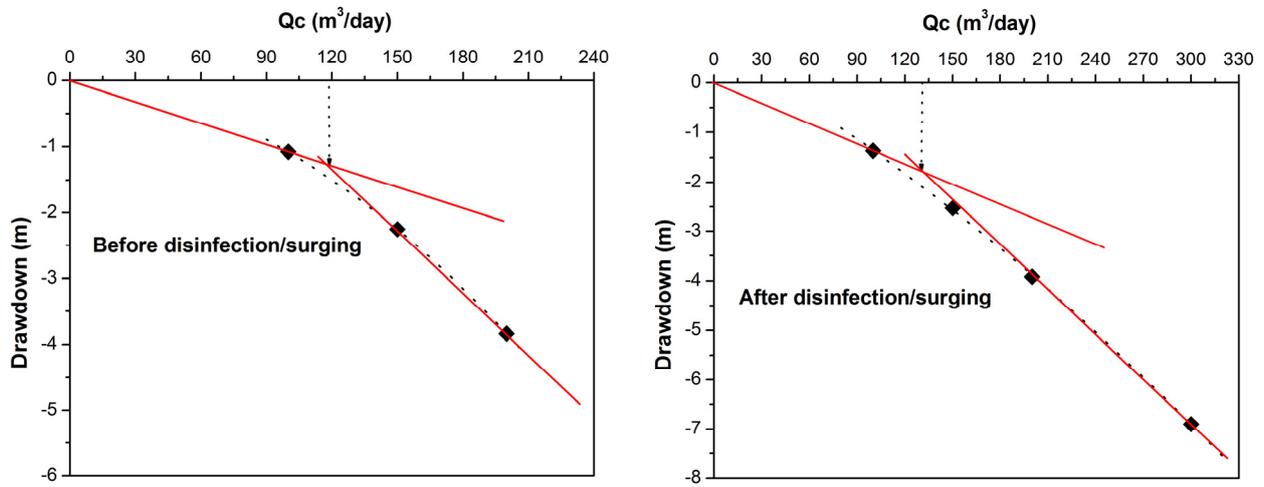


그림 6-7. HW 관정에 대한 우물세척 전후의 임계양수량 산출 결과

3. YP 관정

YP 관정은 개발된 후 약 7년이 경과되었으며, 앞서와 마찬가지로 우물소독 및 우물세척 전후에 우물효율 증대 효과와 임계양수량을 이용한 개발 가능량의 정량적 변화를 비교, 분석하였다. 이 관정에 대한 우물소독은 약 48시간 동안 진행되었으며, 우물세척은 이후 공기압축기를 이용하여 수행하였다. 단계양수시험 시 양수량은 처리 전후에 각각 50, 70, 90, 110 및 130m³/day로 실시하였으며, 각 단계별로 시험시간의 차이를 주어 앞서 제시한 <그림 6-1(c)>의 경우로 각 단계별 수위강하량을 계산하여 해석하였다(표 6-7),(표 6-8),(그림 6-8).

<그림 6-8>은 양수정의 수위가 조금씩 하강하고 있는 천이상태로 앞서 제시된 <그림 6-1(c)>와 마찬가지로 각 단계별로 변화하는 수위를 외삽하여 각 단계별 수위강하량을 계산하여 적용하였다.

표 6-8. YP 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=50m ³ /일)	2단계 (Q=70m ³ /일)	3단계 (Q=90m ³ /일)	4단계 (Q=110m ³ /일)	5단계 (Q=130m ³ /일)
1	1.527	9.724	14.444	20.062	28.235
2	2.986	10.760	15.000	20.340	28.512
3	4.206	11.413	15.690	21.375	29.527
4	4.734	11.844	16.199	22.170	30.494
5	5.079	12.151	16.534	22.755	31.653
6	5.348	12.362	16.803	23.205	32.601
7	5.626	12.506	17.004	23.608	33.443
8	5.818	12.612	17.167	24.001	34.132

표 6-8. YP 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전) (계속)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=50m ³ /일)	2단계 (Q=70m ³ /일)	3단계 (Q=90m ³ /일)	4단계 (Q=110m ³ /일)	5단계 (Q=130m ³ /일)
9	5.905	12.708	17.263	24.499	34.716
10	6.039	12.976	17.368	24.959	35.443
12	6.241	13.322	17.570	25.639	36.630
14	6.394	13.523	17.809	26.118	37.453
16	6.673	13.628	17.944	26.472	38.056
18	6.874	13.715	18.250	26.884	38.477
20	7.248	13.772	18.490	27.191	38.812
25	7.699	13.897	18.778	27.660	39.328
30	8.093	13.983	18.912	27.909	39.634
35	8.275	14.060	18.988	28.091	39.845
40	8.458	14.127	19.065	28.206	40.007
45	8.650	14.185	19.151	28.254	40.141
50	8.774	14.261	19.334		40.247
55	9.005	14.309	19.870		40.313
60	9.129	14.386	20.014		40.428
70	9.254				40.687
80	9.350				40.859
90	9.446				41.021
100					41.107
120					41.270

표 6-9. YP 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=50m ³ /일)	2단계 (Q=70m ³ /일)	3단계 (Q=90m ³ /일)	4단계 (Q=110m ³ /일)
1	2.651	8.113	13.112	20.150
2	3.947	8.948	14.512	21.128
3	4.830	9.514	15.193	21.991
4	5.282	10.042	15.807	22.604
5	5.598	10.426	16.315	23.112
6	5.838	10.714	16.737	23.514
7	6.011	10.934	17.082	23.936
8	6.155	11.107	17.322	24.310
9	6.270	11.241	17.504	24.712
10	6.357	11.337	17.667	25.153

표 6-9. YP 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후) (계속)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=50m ³ /일)	2단계 (Q=70m ³ /일)	3단계 (Q=90m ³ /일)	4단계 (Q=110m ³ /일)
12	6.491	11.491	17.897	26.111
14	6.597	11.596	18.070	26.867
16	6.693	11.692	18.204	27.433
18	6.770	11.769	18.300	27.873
20	6.846	11.836	18.386	28.189
25	6.942	11.970	18.578	28.735
30	7.057	12.086	18.703	29.023
35	7.163	12.191	18.837	29.272
40	7.259	12.277	18.952	29.463
45	7.345	12.364	19.048	29.616
50	7.422	12.431	19.144	29.770
55	7.489	12.489	19.230	29.884
60	7.537	12.556	19.316	30.009
65	7.585	12.613	19.412	30.143
70	7.643	12.671	19.479	30.239
75	7.681	12.709	19.566	30.363

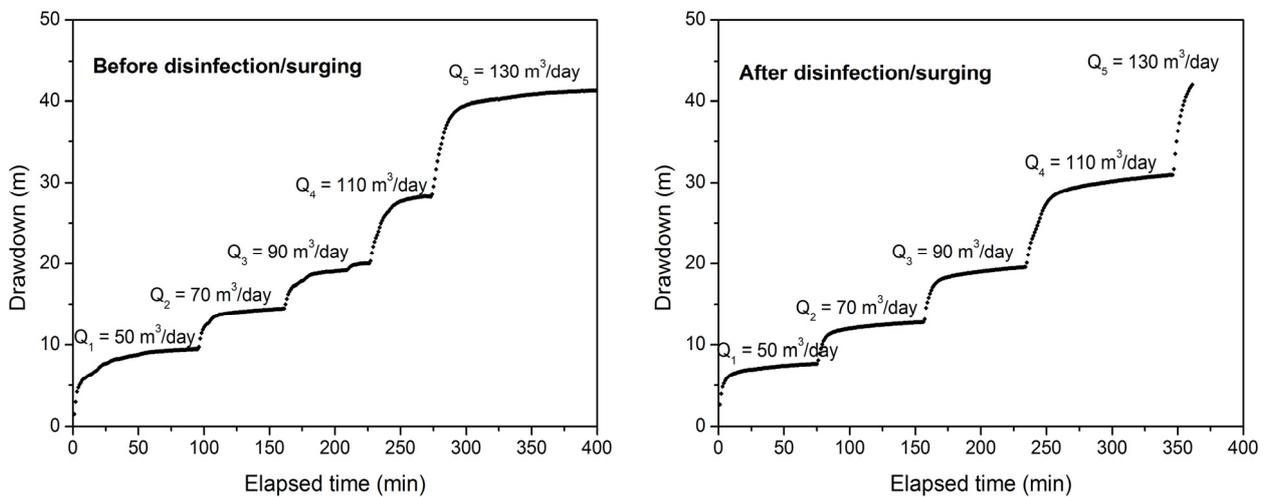


그림 6-8. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과

(표 6-7), (표 6-8)에서 나타난 바와 같이 각 단계별 양수지속시간은 우물세척 이전의 경우 동일하지 않아 실제 각 시험에서 얻은 가장 짧은 지속시간인 45분으로 해석하였으며, 우물세척 이후에는 각 단계별로 동일하게 75분으로 단계양수시험 자료를 해석하였다. 이때 각 단계의 수위강하량(Δs_w)은 우물세척 이전에 8.070, 4.423, 4.130, 8.174, 11.749m이었으며, 우물세척 이후에는 7.681, 3.709, 5.466, 11.263m로 나타났다(표 6-10).

우물효율 관련상수 B와 C를 계산하기 위해 Bierschenk(1964)의 방법을 이용하여 양수량과 비수위강하량 (s_w/Q)의 관계를 <그림 6-9>에 도시하였다. 도시한 결과 양수량과 비수위강하량의 관계에 대한 최적의 선형회귀직선은 우물세척 이전에는 $s_w/Q = 0.00169Q + 0.0568$ 이며 결정계수 (r^2)는 0.95였다. 또한 우물세척 이후에는 $s_w/Q = 0.00165Q + 0.0576$ 로, 결정계수는 0.92로 나타났다.

표 6-10. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과

이전	Δs_w (m)	s_w (m)	Q (m ³ /day)	s_w/Q (day/m ²)	B	C	E_w^*	Δt (min)
Step 1	8.707	8.707	50				40.2	47
Step 2	4.423	13.130	70	0.1876			32.4	47
Step 3	4.130	17.260	90	0.1918	0.0568	0.00169	27.2	47
Step 4	8.174	25.434	110	0.2312			23.4	47
Step 5	11.749	37.183	130	0.2860			20.5	47
이후	Δs_w (m)	s_w (m)	Q (m ³ /day)	s_w/Q (day/m ²)	B	C	E_w^*	Δt (min)
Step 1	7.681	7.681	50	0.1536			41.1	75
Step 2	3.709	11.390	70	0.1627			33.3	75
Step 3	5.466	16.856	90	0.1873	0.0576	0.00165	27.9	75
Step 4	11.263	28.119	110	0.2556			24.1	75

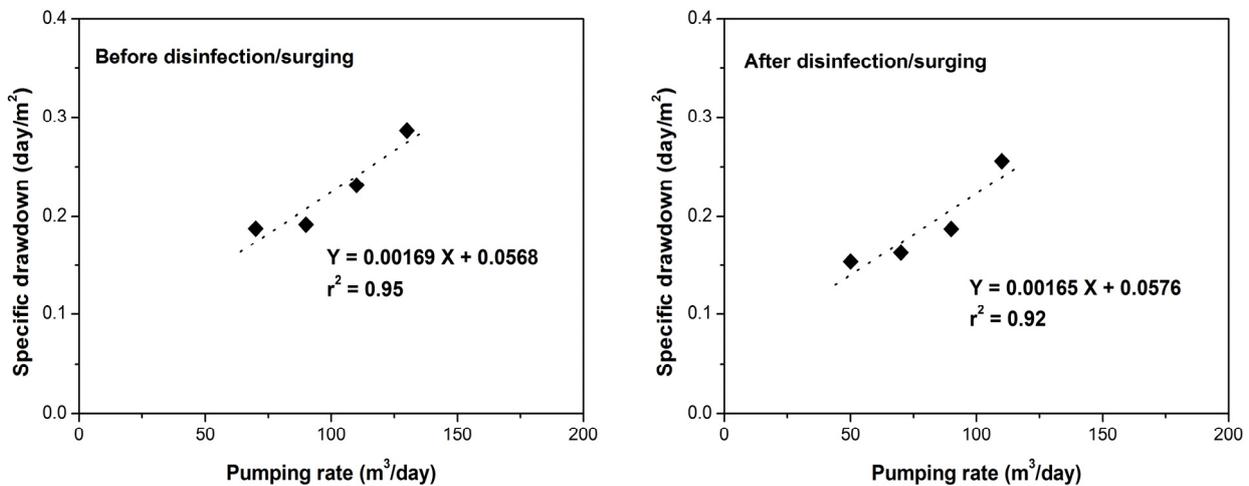


그림 6-9. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 대수층 및 우물손실계수 산출

우물효율(E_w)은 우물세척 전후에 각 단계별로 약간 상승한 결과가 나타나 우물소독제 투입 이후 우물세척 방법이 우물의 효율을 향상시킨 것으로 판단되지만, 앞서 개발 후 약 3년 경과된 관정과 마찬가지로 약 7년 경과된 관정에서의 우물효율 증가가 상대적으로 크게 나타나지 않은 것으로 나타났다.

임계양수량 산출을 위하여 본 지역의 관정에 대하여 단계양수시험 결과를 해석하면 우물세척 이전의 경우 약 82m³/일이며, 처리 이후에는 약 88m³/일로 증가되어 약 7%의 수량 증대 효과가 있는 것으로 분석되었다 <그림 6-10>.

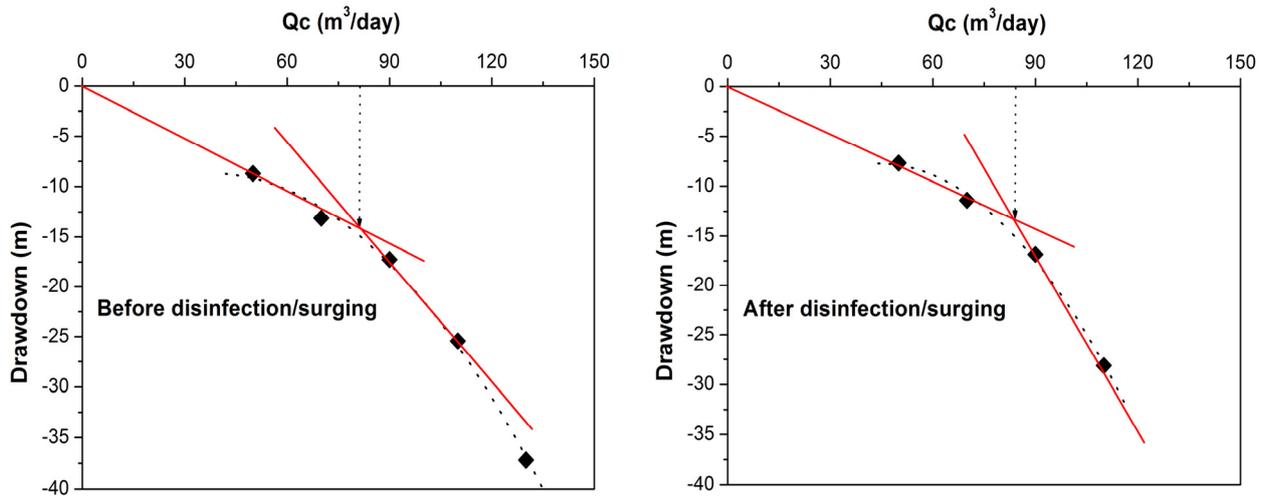


그림 6-10. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 임계양수량 산출 결과

4. SS 관정

개발된 후 약 10년이 경과된 SS 관정에 대해 우물소독 및 우물세척 전후에 우물효율 증대 효과와 임계양수량을 이용한 개발 가능량의 정량적 변화를 비교, 분석하였다. 이 관정에 대한 우물소독은 약 72시간 동안 실시되었으며, 우물세척은 이후 공기압축기를 이용하여 수행하였다. 단계양수시험 시 양수량은 처리 전후에 각각 50, 70, 90, 110 및 130m³/일로 실시하였으며, 각 단계별로 시험시간의 차이를 주어 앞서 제시한 <그림 6-1(c)>의 경우로 각 단계별 수위강하량을 계산하여 해석코자 하였다(표 6-11),(표 6-12).

<그림 6-11>은 양수정의 수위가 조금씩 하강하고 있는 천이상태로 앞서 제시된 <그림 6-1(c)>와 마찬가지로 각 단계별로 변화하는 수위를 외삽하여 각 단계별 수위강하량을 계산하여 적용하였다.

표 6-11. SS 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=90m ³ /일)	2단계 (Q=100m ³ /일)	3단계 (Q=135m ³ /일)	4단계 (Q=160m ³ /일)	5단계 (Q=210m ³ /일)
1	0.873	3.222	5.139	7.593	11.119
2	1.429	3.682	5.590	7.804	12.097
3	1.803	3.989	5.849	8.024	12.806
4	2.052	4.190	6.088	8.360	13.342
5	2.215	4.334	6.347	8.724	13.773
6	2.340	4.459	6.568	9.031	14.051
7	2.426	4.545	6.740	9.280	14.357
8	2.493	4.622	6.884	9.471	14.712
10	2.608	4.727	7.095	9.749	15.296
12	2.685	4.804	7.239	9.912	15.717
14	2.752	4.861	7.334	10.056	16.024
16	2.800	4.900	7.402	10.142	16.301

표 6-11. SS 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이전) (계속)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=90m ³ /일)	2단계 (Q=100m ³ /일)	3단계 (Q=135m ³ /일)	4단계 (Q=160m ³ /일)	5단계 (Q=210m ³ /일)
18	2.838	4.938	7.459	10.209	16.531
20	2.877	4.976	7.507	10.257	16.732
25	2.954	5.044	7.574	10.343	17.134
30	3.021	5.092	NA	10.401	17.412
35	3.069			10.439	17.651
40	3.117				17.843
45	3.164				18.044
50					18.187
55					18.312

표 6-12. SS 관정에 대한 단계양수시험 결과표(우물세척 이후)

단계별 경과시간 (분)	1단계 (Q=90m ³ /일)	2단계 (Q=100m ³ /일)	3단계 (Q=135m ³ /일)	4단계 (Q=160m ³ /일)	5단계 (Q=210m ³ /일)
1	1.104	4.106	6.197	8.479	11.202
2	1.756	4.452	6.523	8.805	12.064
3	2.169	4.672	6.734	90.83	12.754
4	2.428	4.816	6.763	9.285	13.320
5	2.610	4.912	6.955	9.457	13.741
6	2.735	4.998	7.108	9.601	14.067
7	2.821	5.056	7.223	9.706	14.326
8	2.927	5.114	7.329	9.793	14.556
9	3.013	5.171	7.415	9.879	14.728
10	3.090	5.209	7.482	9.936	14.872
12	3.186	5.277	7.588	10.042	15.073
14	3.262	5.325	7.664	10.099	15.294
16	3.320	5.363	7.722	10.157	15.514
18	3.378	5.411	7.760	10.195	15.705
20	3.416	5.449	7.789	10.224	15.849
25	3.512	5.497	7.846	10.291	16.089
30	3.569	5.516	7.885	10.339	16.261
35	3.617	5.555	7.923	10.377	16.376
40	3.675		8.096	10.406	16.481
45	3.713				16.558
50	3.732				16.625
55					16.788

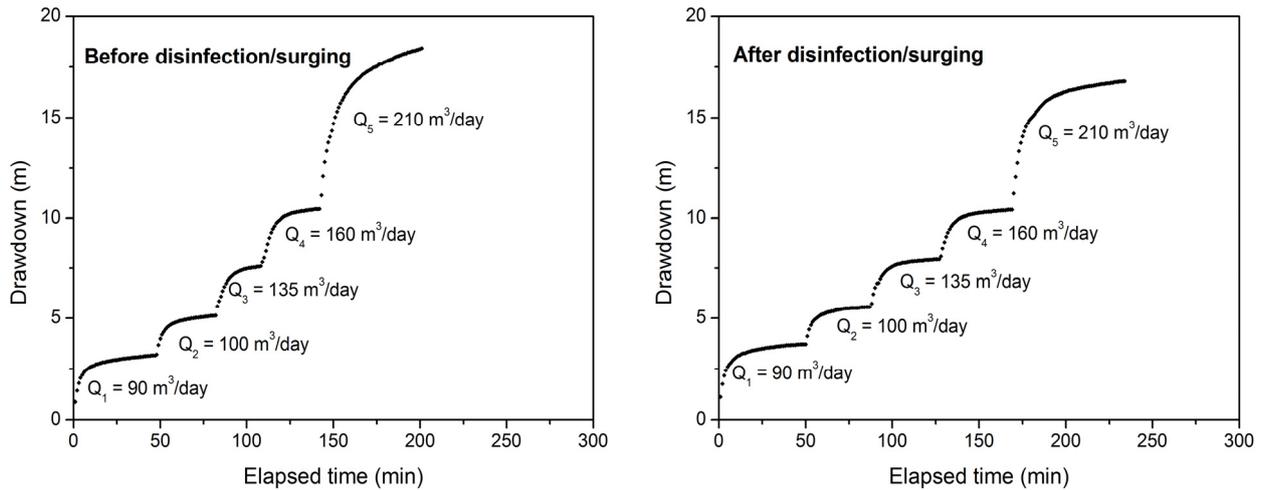


그림 6-11. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과

(표 6-11)과 (표 6-12)에서 나타난 바와 같이 각 단계별 양수지속시간은 동일하지 않기 때문에, 실제 각 시험에서 얻은 가장 짧은 지속시간으로 처리전후에 각각 26분과 35분으로 단계양수시험 자료를 해석하였다. 이때 각 단계의 수위강하량(Δs_w)은 우물세척 이전에 2.973, 1.616, 2.199, 2.540, 6.517m이었으며, 우물세척 이후에는 3.617, 1.455, 2.023, 2.077, 5.676m로 나타났다(표 6-13). 우물효율과 관련된 관련상수 B와 C를 계산하기 위해 Bierschenk(1963)의 방법을 이용하여 양수량과 비수위강하량(s_w/Q)의 관계를 (그림 6-12)에 도시하였다. 도시한 결과 양수량과 비수위강하량의 관계에 대한 선형회귀직선은 우물세척 이전에는 $s_w/Q = 0.00032Q + 0.0087$ 이며 결정계수 (r^2)는 0.99였다. 또한 우물세척 이후에는 $s_w/Q = 0.00022Q + 0.0238$, 결정계수는 0.99로 나타났다.

표 6-13. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 단계양수시험 결과

이전	Δs_w (m)	s_w (m)	Q (m ³ /day)	s_w/Q (day/m ²)	B	C	E_w^*	Δt (min)
Step 1	2.973	2.973	90	0.0330			23.2	26
Step 2	1.616	4.589	100	0.0459			21.4	26
Step 3	2.199	6.788	135	0.0503	0.0087	0.00032	16.8	26
Step 4	2.540	9.328	160	0.0583			14.5	26
Step 5	6.517	15.845	210	0.0755			11.5	26
이후	Δs_w (m)	s_w (m)	Q (m ³ /day)	s_w/Q (day/m ²)	B	C	E_w^*	Δt (min)
Step 1	3.617	3.617	90	0.0402			54.6	35
Step 2	1.455	5.072	100	0.0507			52.0	35
Step 3	2.023	7.095	135	0.0526	0.0238	0.00022	44.5	35
Step 4	2.077	9.172	160	0.0573			40.3	35
Step 5	5.676	14.848	210	0.0707			34.0	35

우물효율(E_w)은 우물세척 전후에 각 단계별로 약 2.3~3.0배 상승한 결과가 나타나는데, 이러한 결과는 우물 소독제 투입 이후 우물세척 방법이 우물의 효율을 크게 향상시킨 것으로 판단된다. 이러한 효과는 앞서 약 10년 경과된 관정의 실험 결과와 유사하게 우물세척으로 스크린의 간극을 메우고 있던 이물질이 제거되었고, 점토나 가는 모래 또는 화학적 침전에 의해 막혔던 공벽이 뚫리거나 스크린 부분을 통과할 때 발생된 난류의 형성, 유속의 증가 및 응결작용으로 인한 가스제거에 의한 것으로 판단된다.

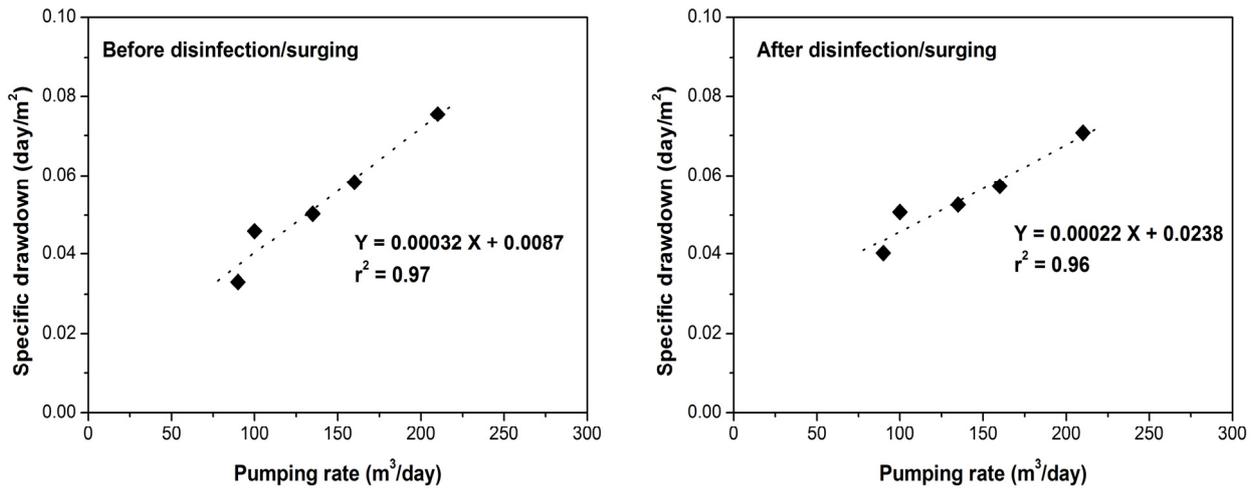


그림 6-12. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 대수층 및 우물손실계수 산출

임계양수량 산출을 위하여 본 지역의 관정에 대하여 단계양수시험 결과를 해석하면 우물세척 이전의 경우 약 120m³/일이며, 처리 이후에는 약 125m³/일로 증가되어 약 4%의 수량 증대 효과가 있는 것으로 분석되었다 (그림 6-13).

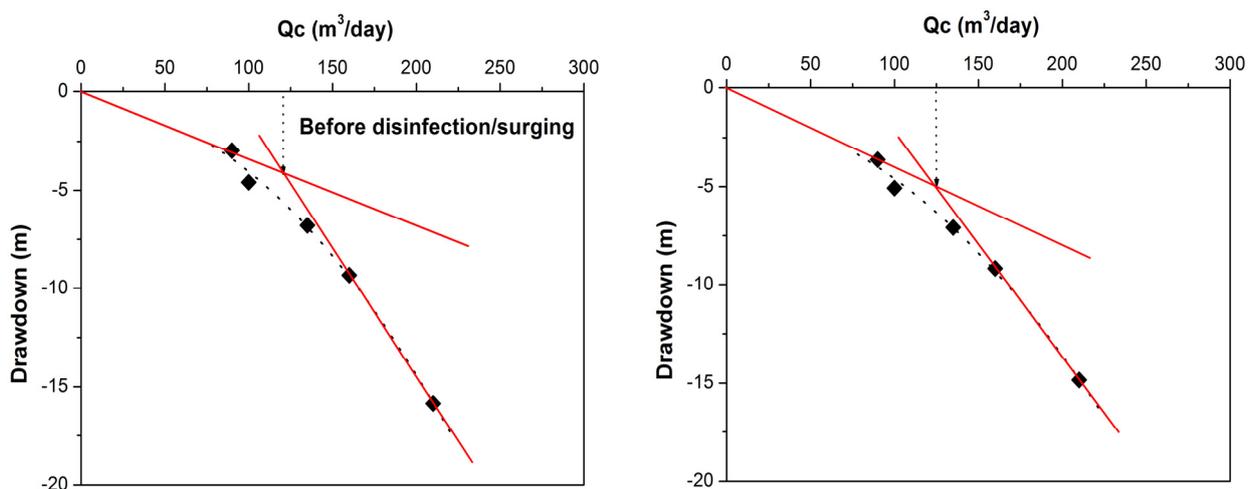


그림 6-13. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 임계양수량 산출 결과

제3절 지하수 수질분석 결과

1. 관정별 수질분석 결과

본 연구에서 수행된 각 지역별 관정에 대한 우물소독 및 우물세척이 각 관정 내의 스크린과 스크린 주변의 자갈 사이에 포함된 각종 이물질 제거에 미치는 영향과, 소독제인 차아염소산칼슘(Ca(OCl₂))의 투여가 우물세척 전후에 지하수 수질에 미치는 영향을 분석할 목적으로 각 관정별로 처리 전후에 수질분석을 수행하였다. 수질 분석은 먹는물 수질기준의 항목과 이외에 주성분과 부성분 이온에 대한 분석을 병행하였다(표 6-14). SH 관정의 경우는 처리 이후 주성분 음이온 성분인 염소이온(Cl⁻)의 농도가 9.0mg/L에서 6.0mg/L로 감소되지만 황산이온(SO₄⁻²)과 질산성질소(NO₃-N)의 경우는 처리 이후에 상대적으로 증가된 것으로 나타나지만, 주성분 양이온의 경우는 상대적으로 큰 변화가 없는 것으로 나타났다(그림 6-14).

표 6-14. 각 관정에 대한 우물소독 및 우물세척 전후의 지하수 수질 분석 결과

분석항목	단위	SH 관정		YP 관정		SS 관정	
		이전	이후	이전	이후	이전	이후
비소(As)	mg/l	0.001	0.005	0.002	0.007	ND	ND
세레늄(Se)	mg/l	0.003	0.001	ND	0.003	ND	ND
시안(CN)	mg/l	ND	ND	ND	0.001	0.001	ND
동(Cu)	mg/l	ND	0.009	0.002	0.003	ND	ND
아연(Zn)	mg/l	10.393	0.358	0.045	0.032	0.607	0.241
철(Fe)	mg/l	0.52	0.26	0.09	0.04	6.68	1.06
망간(Mn)	mg/l	0.038	0.007	0.008	0.005	1.407	1.024
알루미늄(Al)	mg/l	ND	0.39	0.03	ND	0.01	ND
칼슘(Ca)	mg/l	23.15	21.86	19.99	15.94	45.53	44.31
마그네슘(Mg)	mg/l	3.72	4.22	5.18	4.62	18.03	16.81
나트륨(Na)	mg/l	5.25	5.43	2.23	2.62	18.65	17.02
칼륨(K)	mg/l	1.20	0.80	1.15	0.95	3.21	2.97
염소이온(Cl ⁻)	mg/l	9	6	3	2	60	57
황산이온(SO ₄ ⁻²)	mg/l	8	16	11	17	9	6
질산성질소(NO ₃ -N)	mg/l	0.4	1.4	0.3	0.9	0.3	1.4
암모니아성질소(NH ₃ -N)	mg/l	0.01	0.05	0.05	ND	0.21	0.01
불소(F)	mg/l	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3
전기전도도(EC)	μ mhos/cm	167	191	125	135	439	409
총질소(T-N)	mg/l	1.164	1.005	0.034	0.105	0.516	1.154
총인(T-P)	mg/l	0.017	0.031	0.022	0.024	0.017	0.014
과망간산칼륨소비량(KMnO ₄)	mg/l	ND	ND	0.2	ND	5.1	1.6
음이온계면활성제(ABS)	mg/l	0.04	0.09	0.04	0.08	0.12	0.08
경도(Hardness)	mg/l	71	81	79	66	199	190
색도(Color)	도	2	1	2	1	80	25
수소이온농도(pH)		6.6	7.4	6.6	7.3	6.2	6.3
탁도(Turbidity)	NTU	1.99	0.54	0.84	0.23	100.94	19.84
증발잔류물(Total solids)	mg/l	154	151	99	110	348	329
부유물질(SS)	mg/l	2.4	0.6	5.8	0.2	25.2	3.4

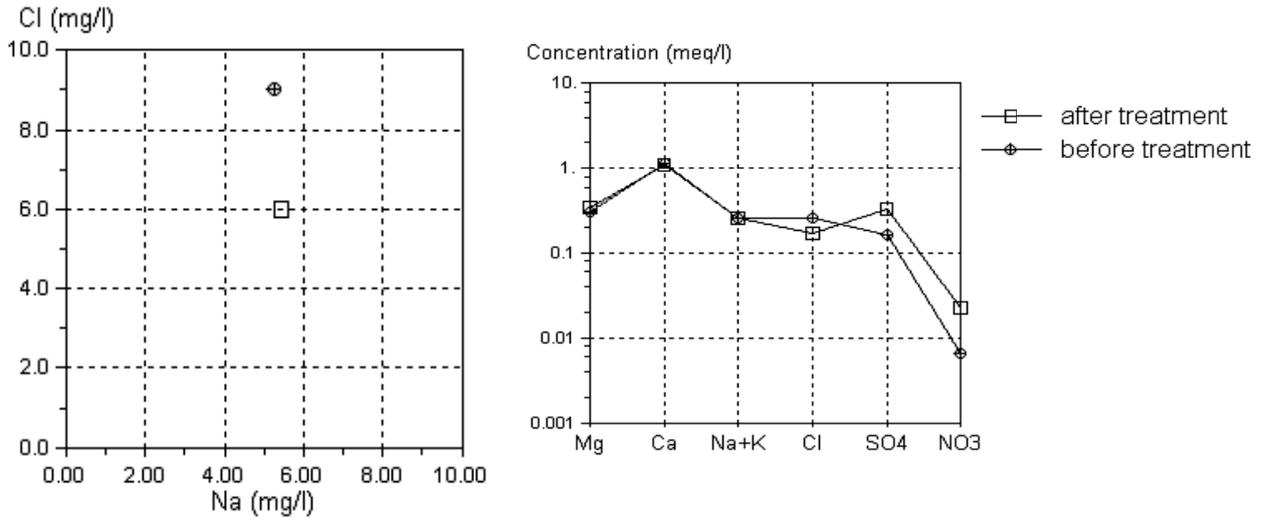


그림 6-14. SH 관정에 대한 우물세척 전후의 이온분석 결과 비교도

YP 관정의 경우는 SH 관정과 유사한 결과로 나타났는데, 처리 이후 주성분 음이온 성분인 염소이온(Cl^{-1})의 농도가 3.0mg/L에서 2.0mg/L로 감소된 것으로 나타났다. 황산이온(SO_4^{-2})과 질산성 질소(NO_3-N)의 경우는 처리 이후에 상대적으로 증가된 것으로 나타나며, 주성분 양이온의 경우는 상대적으로 큰 변화가 없는 것으로 나타났다(그림 6-15).

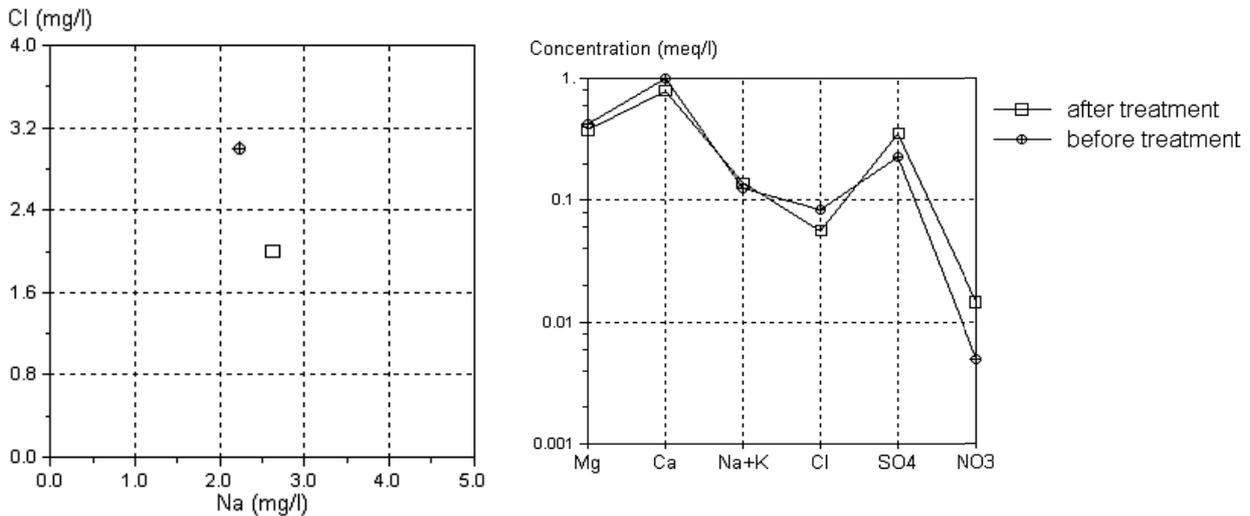


그림 6-15. YP 관정에 대한 우물세척 전후의 이온분석 결과 비교도

SS 관정의 경우도 처리 이후 주성분 음이온 성분인 염소이온(Cl^{-1})의 농도가 60mg/L에서 57mg/L로 감소되지만 이 지역의 경우 해안선과의 거리가 짧아 감소 비율이 상대적으로 적은 것으로 분석되었으며, 주성분 양이온의 경우는 상대적으로 큰 변화가 없는 것으로 나타났다(그림 6-16).

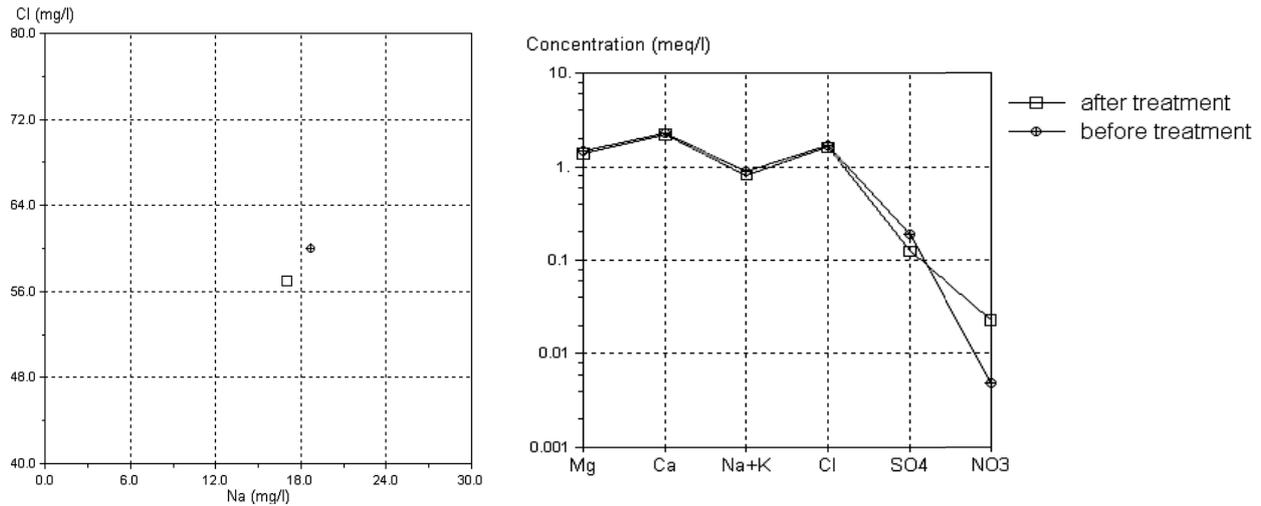


그림 6-16. SS 관정에 대한 우물세척 전후의 이온분석 결과 비교도

이러한 이온분석 결과를 토대로 각 관정에 대한 먹는물 기준의 수질분석치를 분석하면, 3지역 모두에서 전체적으로 부유물질(suspended solids, SS)이 크게 감소한 것으로 나타났다. 또한 동시에 분석된 총질소(T-N)와 총인(T-P)의 변화가 없거나 크지 않고, 전기전도도의 변화 또한 크지 않음에 따라 이러한 부유물질 중의 염(salt)의 영향도 크지 않은 것으로 판단된다. 따라서 3곳의 관정에 대한 우물소독 및 우물세척 방법은 주로 무기물의 침전 및 흡착에 의한 부유물질이 효과적으로 제거된 것으로 분석된다.

증발잔류물(total solids)의 경우는 3곳 모두에서 처리 전후에 큰 차이가 없는 것으로 나타나므로, 처리 전후에 각 지역별로 원수의 수질 변화가 없는 것으로 판단된다. 또한 전기전도도의 경우도 처리 전후에 차이가 크게 나타나지 않음에 따라 본 연구에서 사용된 차아염소산칼슘(Ca(OCl)₂)는 우물소독에 이용하는데 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

2. 수질 및 수량 상관관계 분석

수질분석 결과는 수량증가와 뚜렷한 상관관계를 지닌다. 즉, 공공관정에 대한 점검정비가 완료된 관정 가운데 수질개선이 뚜렷하게 상승한 SS 관정의 경우 수량증가도 뚜렷하게 나타난다. 이와는 반대로 수질개선이 거의 없던 SH, YP 관정은 수량증가가 거의 나타나지 않았다.

SS 관정의 경우, 소독 및 우물세척으로 관정 내부 자재에 침전되어 있던 유기물이 제거됨에 따라, 사후관리 시행 후 과망간산칼륨소비량(KMnO₄)이 현저히 줄어들었다. 또한 관정 내부 토사 및 이물질 제거에 따라 색도, 탁도, 부유물질의 현저한 감소가 발생하였다. 부식 및 유기물 산화에 따른 철, 망간 농도는 세정 후 현저히 감소한 것으로 나타났다. 이렇게 관정 내부자재의 충전 및 부식산물의 제거에 따라 수량증가(22~32%의 효율증가)가 발생한 것으로 추정할 수 있다.

반면, SH 및 YP 관정의 경우, 수질항목 농도가 사후관리 전·후 변화가 거의 발생하지 않았다. 즉, 관정 내부 물질의 제거가 거의 발생하지 않았고, 이로 인해 효율증가가 거의 이루어지지 않았음을 볼 수 있다. YP 관정의 경우, 1~3%의 효율이 증가하는데 그쳤으며, SH 관정은 6~7% 효율이 오히려 감소하는 결과가 나타났다.

결과적으로 앞서 언급한 바와 같이 과망간산칼륨소비량, 색도, 탁도, 부유물질, 철, 망간 농도 등은 유기물 및 토사 등의 침전물, 부식잔류물 등을 지시하는 간접 지시인자로 활용이 가능한 것으로 나타났다. 따라서, 이들 항목들은 수질검사 1회의 결과를 바탕으로 수질개선 뿐만 아니라 수량 개선까지 논할 수 있는 중요한 지시인자가 될 수 있을 것으로 판단된다.

제4절 토의 및 결론

본 연구 결과 개발 이후 장기간 사용된 기존의 관정에 대하여 적절한 우물소독 및 우물세척을 하는 경우 지역 별로 차이는 있지만 양수량에 따라 우물효율이 약 1~5배 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 단계양수시험 자료를 해석하여 얻어진 임계양수량을 기준으로 하는 경우에는, 우물세척 이전에 비해 약 4~8%의 수량 증대 효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 우물효율의 증가는 특히 개발 이후 약 10년 이상 경과된 관정들에서는 효과가 더 크게 나타나는 것으로 밝혀졌다. 따라서 기존 관정들의 효율 증대를 목적으로 우물소독 및 우물세척을 하는 경우는 약 10년 이상 경과된 관정을 대상으로 하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

임계양수량을 기준으로 관정 개발 당시의 양수량을 판단한 결과 HW 관정의 경우는 당초 제시된 양수량인 327m³/일에 비해 우물세척 이후에는 130m³/일로 나타나 약 2.5배 과다하게 양수량이 제시된 것으로 나타났다. 또한 YP 관정의 경우도 당초 양수량인 250m³/일에 비해 처리 이후는 88m³/일로 나타나 약 2.8배 양수량이 과다하게 계산된 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과로부터 단공에 대한 제한적인 시험자료로부터 개발 당시 계획되는 양수량은 전체적으로 과다하게 설정되는 것을 알 수 있으며, 이에 대한 합리적인 기준의 개발이 시급한 것으로 나타났다.

우물효율 증가는 관정 소재 지형, 허가신고량, 심도 등과 무관하게 나타났다. 지형과 관련, 우물세척 이후 SH 관정은 6~7% 효율이 감소한 반면, HW 관정은 26~43% 증가한 것으로 분석되었다. YP 관정은 1~3% 우물효율 증가에 그친 반면, SS 관정은 22~32% 효율이 증가된 것으로 나타났다. 허가신고량과 관련하여 우물세척 이후 약 150~155m³/일 범위인 SH 관정은 6~7% 효율이 감소하였으나, SS 관정은 22~32% 효율이 증가한 것으로 나타났다. 양수량 250m³/일인 YP 관정은 1~3% 우물효율이 증가하였으나, 허가 신고량이 327m³/일인 HW 관정은 26~43%의 효율이 증가한 것으로 나타났다.

관정 심도 관련, 사후관리 후 관정심도 62m 인 SS 관정은 22~32% 효율이 증가하였으나, 100~102m 심도인 나머지 관정들은 효율이 증가 또는 감소되어 심도와 관련이 없는 것으로 나타났다. 다만, 우물효율 증가는 관정 개발 후 경과년수와 관련되었으며, 개발 후 3~5년 된 SH 및 YP 관정은 효율이 감소되거나 1~3%의 증가에 그쳤던 반면, 9~10년 경과된 SS 및 HW 관정은 각각 22~32%, 26~43% 효율이 증가되었다. 경과년수에 영향을 주는 요인은 관정 내부자재의 충전과 부식에 관련되어 있었으며, 이는 수질 시료 분석으로 확인할 수 있었다. 수질과 수량의 상관관계는 뚜렷하게 나타났다. 과망간산칼륨소비량, 색도, 탁도, 부유물질, 철, 망간 농도 등은 유기물 및 토사 등의 침전물, 부식잔류물 등을 지시하였고, 관정 사후관리 시급 순위를 결정할 수 있는 지시인자로 활용이 가능한 것으로 나타났다. 또한 이들 분석항목은 농어업용 지하수 수질기준에서 제외되어 있는 바,

사후관리를 위해서는 농어업용 지하수 수질기준 16개 항목에 더불어, 이들 항목들도 추가로 분석해야 할 필요성을 제시하였다.

지하수 수질의 관점에서는 이온성분 분석과 부유물질, 총질소, 총인, 전기전도도, 증발잔류량 등을 종합적으로 분석하는 것이 필요하며, 연구결과 우물 효율을 감소시키는 주요한 요인은 무기물의 침전 및 흡착에 의한 스크린 및 대수층의 막힘으로 발생되며, 차아염소산칼슘($\text{Ca}(\text{OCl}_2)$)를 이용한 우물소독 및 에어써징을 이용한 우물세척이 부유물질의 제거에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 지하수 수질결과를 종합적으로 판단한 결과 우물소독을 위한 약품 투여는 대수층의 오염에 영향이 없는 것으로 나타났다.

또한 본 연구결과 앞서 제시한 단계양수시험 방법을 정확하게 적용하지 않는 경우 우물효율 산정 시 발생하는 오차로부터 부정확한 우물 손실이나 대수층 손실계수가 계산될 수 있으므로, 가능하면 양수관정 내 안정수위를 얻도록 장기적으로 양수하는 것이 보다 신뢰성있는 평가를 위해 바람직한 것으로 판단된다.

제7장 정비공법별 지하수 추가 확보량의 정량적 평가

농어업용 공공관정 개발 이후 관정 시설물의 노후화로 인한 토출량 감소 및 수질불량 등으로 효율이 저하되는 문제점을 해결하기 위해 공내 관정정비 등 여러 가지 방법의 정비 공정 시행되고 있으나, 관정의 효율저하 원인과 각 공법에 대한 수평적인 평가 등이 거의 이루어지지 않고 있다. 본 장에서는 한국농어촌공사에서 관리 중인 농어업용 공공관정 12개소를 대상으로 대표적인 기계적 처리방법 5가지 정비공법을 적용하여, 현장시험을 통한 효율저하 원인 규명 및 효율개선 등 평가를 실시하였다(표 7-1).

표 7-1. 시험대상 농어업용 공공관정 현황

시설명	주소	관리지사	관정정비 공법
고안1	경기도 안성시 일죽면 방초리	안성지사	파워 버블
대서	경기도 이천시 장호원읍 대서리	여주이천지사	
제요2	경기도 이천시 설성면 제요리	여주이천지사	
당진	경기도 여주군 점동면 당진리	여주이천지사	
승두2	경기도 안성시 공도읍 진사리 251-4	안성지사	고전압 펄스 방전
입암9	경기도 양주시 남면 입암리 51-8	파주지사	
당동	경기도 파주시 문산읍 당동리	파주지사	
상수6	경기도 양주시 남면 상수리 56-9	파주지사	
제요1	경기도 이천시 설성면 제요리 366-5	여주이천지사	에어써징
해창1	경기도 평택시 고덕면 문곡리 636-1	평택지사	
등원2	경기도 파주시 조리읍 등원리	파주지사	브러싱
선유1	경기도 파주시 문산읍 선유리	파주지사	워터제팅

이를 위하여 농어업용 공공관정 12개소에 대하여 양수시설 인양 전·후 대수성 시험 및 수질분석을 실시하고, 관정정비 및 수중TV 검층을 실시하였다. 이후 각 공법별로 공내 관정정비 전·후 대수성 시험 및 수질분석을 통한 효율개선 평가(대수성 시험 및 수질분석 결과 해석 및 비교, 공내 관정정비 전·후 효율 및 수질개선 효과 비교)를 실시하였다. 현장시험 세부내용은 (표 7-2)에 정리하였다.

표 7-2. 단계별 현장시험 순서 및 세부내용

구분	세부공정	내 용
양수시설 인양 이전	대수성시험	<ul style="list-style-type: none"> • 단계양수시험 수행(5단계, 매 단계 2시간 이상) • 장기양수시험 수행(최대 양수량으로 16시간 이상) : 주파수변조기를 이용하여 양수량 조정
	수질검사	<ul style="list-style-type: none"> • 장기양수시험 시 지하수 시료 채취 • 채취시료 먹는물 수질검사기관에 분석의뢰 • 분석항목: 23개 항목 카드뮴, 비소, 시안, 수은, 유기인, 페놀, 납, 6가크롬, TCE, PCE, 111-TCA, pH, 질산성질소, 염소, 철, 망간, 탁도, 색도, 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 암모니아성질소, 과망간산칼륨소비량
양수시설 인양/관정 정비작업	양수시설 인양	<ul style="list-style-type: none"> • 양수시설 인양(안전사고 예방 조치)
	관정정비작업 전 수중TV 검증	<ul style="list-style-type: none"> • 관정 내 수중TV 검증 • 공벽에 침전되어 있는 이물질 등의 심도 기록
	소독제 투여	<ul style="list-style-type: none"> • 수중TV 검증 후 우물소독제 투입
	관정청소	<ul style="list-style-type: none"> • 5가지 기계적 처리(mechanical treatment) 방법을 이용하여 관정청소 수행
	양수시설 정비/관정정비	<ul style="list-style-type: none"> • 수중모터펌프 등 양수시설 장비 작동상태 확인/정비
	관정 제원측정	<ul style="list-style-type: none"> • 지하수이용시설 허가/신고증에 기재된 제원 측정 비교
	관정정비작업 후 수중TV 검증	<ul style="list-style-type: none"> • 관정 내부 수중TV 검증 수행, 관정정비에 따른 변화 확인
양수시설 재설치 이후	양수시설 재설치	<ul style="list-style-type: none"> • 인양된 양수시설 재설치 및 정상작동 여부 확인
	대수성시험	<ul style="list-style-type: none"> • 단계양수시험/장기양수시험 수행 : 주파수변조기를 이용하여 양수량 조정
	수질검사	<ul style="list-style-type: none"> • 장기양수시험 시 지하수 시료 채취 • 채취시료 먹는물 수질검사기관 분석의뢰 • 분석항목: 23개 항목

제1절 연구방법

1. 양수시설 인양 및 관정제원 확인

대상 시설 주변 작업공간 확인 및 작업부지 내 안전펜스 설치 등으로 작업에 따른 안전성을 확인한 후, 수중 전선류, 수중모터 펌프, 토출관 등 양수시설 인양작업을 수행하였다. 지점별로 내부에 설치된 우물자재는 크레인을 사용하여 인양하였으며, 내부 시설물은 외부상태 및 제원 등을 파악하여 기록하였다. 또한 지하수개발이용시설 허가증에 기재된 제원과 비교·확인하였다. 인양된 양수시설은 고압관정정비기로 침전물이 제거될 때까지 세척작업을 수행하였다.

2. 관정정비 방법

일반적으로 농어업용 지하수의 경우 농작물의 계절적인 수요량 변화로 인한 불규칙적인 이용 패턴으로, 관정을 이용하는 농업인의 경우에는 안정적인 유지/관리에 대한 필요성이 높다. 특히 지방자치단체나 한국농어촌공사에서 운영하는 농어업용 공공관정의 경우에는, 용수의 안정적 공급을 위한 체계적인 관리 방안 수립이 필수적이다. 이와 관련하여 지하수법 제9조에서는 취수량 150m³/일 이상의 농어업용 관정은 매5년 주기로 사후관리를 통한 점검정비를 시행하도록 규정하고 있다. 이때의 사후관리에는 지하수 이용시설의 청소, 검사 및 정비 등의 공정이 포함되며, 세부적으로는 공내 세척, 부식된 관정 시설물의 교체, 전기시설 정비 및 양수장 건물의 누수 보강 등의 작업에 대한 내용들이 있다.

그러나 지하수 관정의 규모, 용도, 토출량 및 효율저하 원인 등 사후관리를 위한 기초적인 기능진단 방법에 대한 규정이 없기 때문에, 국내에서는 대부분의 경우에는 관정에 대한 기초조사 없이 관정 내부 전체 구간에 대하여 에어써징(air surging)을 이용한 공내세척 방법이 적용되고 있다(한국농어촌공사, 1997; 한국수자원공사, 2011). 특히 공내 세척 등 사후관리 이후의 양수량 증가 및 수질 개선 등 관정 성능 개선에 대한 정량적인 평가 기준 및 절차 부재로, 효율적인 공내 세척 방법이나 효과 등에 대한 체계적인 검토가 필요한 실정이다.

일반적으로 지하수 관정의 성능은 관정 개발 후 시간 경과에 따라 감소되며, 일정 시점을 경과하면 급격하게 감소하는 특징이 있다. 그러나 급격한 감소 시기는 대수층의 물리적 특성, 지하수 수질, 관정 내 스크린의 폐색, 관정 사용의 방식 등에 따라 다르다. 이러한 성능 저하에 큰 원인으로는 관정 내 케이싱과 스크린에서 발생하는 부식(corrosion)과 피막 발생에 따른 충전(incrustation)이 대표적이다(한국농어촌공사, 1997; Houben and Treskatis, 2007). 따라서 관정에 대한 적절한 유지/관리는 관정 수명을 연장시킬 수 있는데, 이를 위한 방법으로는 물리적인 처리와 화학적인 처리 방법이 있다. 이러한 유지/관리를 통한 관정의 성능 회복을 정량적으로 평가하기 위해서는, 해당 관정에 대하여 공내 세척 등 유지/관리 전후에 단계양수시험(step-drawdown pumping test)을 통한 다양한 해석 결과를 이용한다(Driscoll, 1986; Houben and Treskatis, 2007).

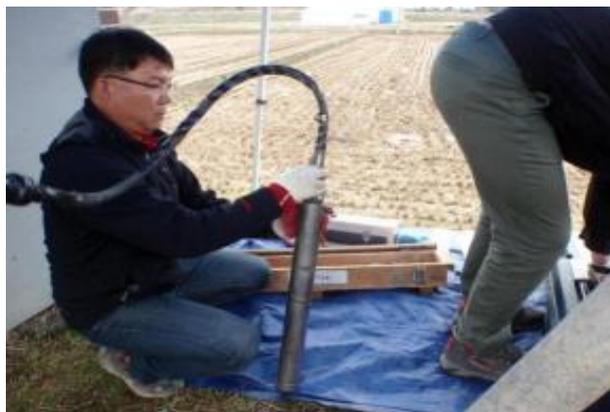
제6장에서는 농어업용 공공관정의 성능 저하 원인 규명을 위해, 에어써징 전후 단계양수시험을 해석 결과를 제시한 바 있다. 이 결과 우물효율 증가는 개발연도가 오래된 관정일수록 우물효율 개선정도가 큰 것으로 나타났으며, 적절한 소독 및 공내 세척을 하는 경우 우물효율은 약 1~5배, 양수량은 약 4~8% 증가하는 것으로 밝혀

졌다. 특히 우물효율의 증가는 개발 이후 약 10년 이상 경과된 관정들에서는 효과가 더 큰 것으로 나타남에 따라, 기존 관정들의 효율 증대를 목적으로 소독 및 공내 세척을 하는 경우는 약 10년 이상 경과된 관정을 대상으로 하는 것이 효과적인 것으로 제시하였다.

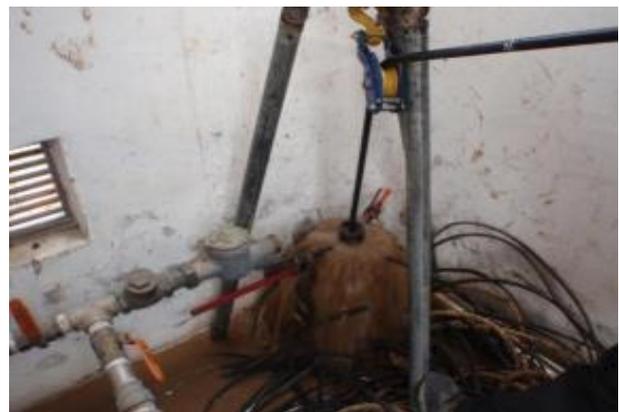
본 연구에서는 기계적 처리 방법(mechanical rehabilitation method) 중 기존의 에어써징 기술과 더불어 파워 버블(power bubble)과 고전압 펄스 방전 방식(high-voltage pulse discharge), 브러싱(brushing), 워터제팅(water jetting) 등 5가지 공내 세척 공법을 유사한 조건의 농어업용 공공관정에 적용하여, 단계양수시험을 활용한 공내 세척 전후의 관정 성능 개선을 정량적으로 비교/평가하였다. 정량적 평가에 이용된 인자는 단계양수 시험 자료를 이용한 우물 및 대수층 수두손실 계수 변화와 공내 세척 이후의 양수량 증가분 계산 방법을 제안하여 결과를 제시하였다.

가. 파워 버블

파워 버블 방법은 관정 내의 지하수위 하부 구간에 대하여 고압의 질소기체를 순간적으로 분사할 때 발생된 펄스 에너지(pulse energy)를 활용하여, 스크린 간격 또는 스크린과 공벽 사이의 여재 등에 흡착된 광물질이나 주변 대수층 내에 형성된 생물막 또는 침전 광물질을 제거하는 기술이다. 이 기술은 우물 수두손실율과 함께 대수층 수두손실율을 동시에 감소시키기 위하여, 관정 내의 스크린 구간에 대하여 집중적으로 질소기체를 분사시키는 방식을 이용한다. 이때 발생하는 질소기체의 에너지는 최대 3,000psi(210kgf/cm²) 까지 가능하지만, 농어업용 관정에 설치된 스크린 재질이 PVC로 과다한 압력이 작용하는 경우 파손의 위험이 있어서 현장에서는 약 500psi의 에너지를 이용한다. 이 방법에 의해 제거된 광물질, 세립질 모래 또는 점토 등은 별도의 인양 펌프 내에 질소기체를 분사시켜 지상으로 연결된 관을 이용하여 배출시킨다(그림 7-1).



(a)



(b)

그림 7-1. 파워 버블 장비(a) 및 공내 청소(b)

현장작업은 파워 버블 발생기를 관정 상부로부터 깊이별로 이동시키면서, 무공관과 유공관 구간에서 압축 질소기체를 각각 1회/50cm 및 5회/25cm 빈도로 방출하였다. 파워 버블 작업 이후에는 별도 제작된 CY-Lifting Pump에 고압의 질소기체를 주입하여 관정 바닥에 쌓인 세립질 모래나 점토 등을 지하수와 함께 지상으로 배출하였다. 4곳의 관정 대한 구간별 압출 질소의 방출압력과 방출 빈도는 (표 7-3)과 같다.

표 7-3. 관정별 파워 버블 방법 적용 대상 심도별 사용압력 및 방출 빈도

관정명	대상 심도 (m)	사용압력 (psi)	방출 빈도(회)	관정명	대상 심도 (m)	사용압력 (psi)	방출 빈도(회)
고안1 (10구간)	0 ~ 36	500	12	대서 (6구간)	0 ~ 32	600	6
	36 ~ 40	700	6		32 ~ 40	600	5
	40 ~ 44	500	3		40 ~ 44	600	7
	44 ~ 48	700	6		44 ~ 52	600	6
	48 ~ 52	500	2		52 ~ 64	600	6
	52 ~ 56	700	7		64 ~ 72	600	6
	56 ~ 60	500	2	제요2 (5구간)	12 ~ 16	450	80
	60 ~ 64	700	6		32 ~ 36	500	80
	64 ~ 68	500	3		40 ~ 44	600	80
	68 ~ 72	700	8		50 ~ 54	650	80
			67 ~ 75		550	180	
당진 (4구간)	12 ~ 16	500	80				
	24 ~ 28	550	80				
	40 ~ 44	600	80				
	52 ~ 56	650	80				

나. 고전압 펄스 방전

지하수 관정 내에 위치한 장비 내부 전극에 순간적인 고전압 전기 에너지를 주입하여 펄스를 방전하게 되면, 방전된 펄스에 의해 전극 사이의 물이 순간적으로 고온, 고압의 플라즈마 상태로 팽창하게 된다. 이때 발생된 수중 충격파를 이용하여 스크린 간격 내에 충전되는 침전 광물질 등을 제거하는 기술이 고전압 펄스 방전법이다(정경재 외, 2013). 이때 비압축성인 물로 인해 수중 충격파가 발생되며, 공내 스크린의 재질에 따라 전기 에너지 조절을 통한 수중 충격압의 크기를 조절한다. 본 연구에서는 전압과 전류를 각각 18kV와 5kA로 적용하였다(그림 7-2).



(a)



(b)

그림 7-2. 고전압 펄스 방전 장비(a) 및 공내 청소(b)

본 방법은 공내 TV 검층 후 확인된 무공관과 스크린 구간을 중심으로 평균 각각 25cm/회와 5~7.5cm/회의 고전압 펄스 방전 에너지를 발생시켰다. 다만 내부 우물자재가 PVC자재로 구성됨에 따라, 우물자재 훼손 방지를 감안하여 철재 우물자재에 비해 상대적으로 약한 전류 및 전압을 사용하여 관정정비를 실시하였다(표 7-4).

다. 에어써징

에어써징은 공내에 압축공기를 주입하여 이물질을 배출시키는 방식으로, 브러쉬 방법과 함께 가장 많이 사용하는 방법이다(한국수자원공사, 2011). 이 시험방법은 일반적으로 관정 바닥 근처에 설치된 관에 연결된 공기압축기(air compressor)로 부터 고압의 압축공기를 발생시키는데, 이때 발생하는 최대 에너지는 350psi (25kgf/cm²)로 현장에서 사용하기 간편한 반면, 대기 중으로 온실가스 등 오염물질(CO₂, CO, SO_x)을 배출시키는 단점이 있다(그림 7-3).

표 7-4. 관정별 고전압 펄스 방전 방법 적용 대상 심도별 방전 간격 및 방전 빈도

관정명	대상 심도 (m)	방전 간격 (cm/회)	방전 빈도 (회)	관정명	대상 심도 (m)	방전 간격 (cm/회)	방전 빈도 (회)	
승두2	69 ~ 61	25cm	32	입암9	47 ~ 43	7.5cm	54	
	61 ~ 57	7.5cm	54		43 ~ 39	25cm	16	
	57 ~ 49	25cm	16		39 ~ 35	7.5cm	54	
	49 ~ 45	7.5cm	54		35 ~ 31	25cm	44	
	45 ~ 41	25cm	16		31 ~ 27	7.5cm	54	
	41 ~ 37	7.5cm	54		27 ~ 10	25cm	68	
	37 ~ 33	25cm	16		10 ~ 0	-	-	
	33 ~ 29	7.5cm	54		당동	68 ~ 60	25cm	32
	29 ~ 25	25cm	16			60 ~ 56	5cm	120
	25 ~ 21	7.5cm	54			56 ~ 48	25cm	32
	21 ~ 10	25cm	44			48 ~ 44	5cm	80
	10 ~ 0	-	-			44 ~ 36	25cm	32
입암9	78 ~ 75	25cm	12	36 ~ 32		5cm	80	
	75 ~ 71	7.5cm	54	32 ~ 24		25cm	32	
	71 ~ 67	25cm	16	24 ~ 20		5cm	80	
	67 ~ 63	7.5cm	54	20 ~ 16		25cm	16	
	63 ~ 55	25cm	16	16 ~ 12		5cm	80	
	55 ~ 51	7.5cm	54	12 ~ 10		25cm	8	
	51 ~ 47	25cm	16	10 ~ 0		-	-	



(a)



(b)

그림 7-3. 에어써징 장비(a) 및 공내 청소(b)

에어써징을 적용한 시설물은 상수6, 제요1, 해창1 관정으로 공기압축기를 이용하여 오염물질을 지하수와 함께 양수하며 맑은물이 토출될 때까지 압력주입 및 관정정비를 반복하여 수행하였다.

라. 브러싱

브러싱은 물리적으로 브러시를 이용하여 우물자재의 표면을 긁어내는 방법으로, 일반적으로 우물자재에 부분적으로 굳어진 피막을 솔질로 제거하는 방법이다. 공공관정은 유공관의 스크린이 수직으로 배열되어 있으므로, 수직적 왕복 운동을 이용하였다. 특히, 수중TV 검층으로 확인된 유공관 구간을 대상으로 집중적인 솔질을 실시하였다(그림 7-4).



(a)



(b)

그림 7-4. 브러쉬 장비(a) 및 공내 청소(b)

마. 워터제팅

워터제팅은 공기압축기를 이용하여 유공관 구간을 대상으로 집중적인 물을 분사하여, 오염물질을 지하수와 함께 양수하는 과정을 반복하여 맑은물이 토출될 때까지 압력주입 및 세정을 반복하여 수행하였다(그림 7-5).



(a)



(b)

그림 7-5. 워터제팅 장비(a) 및 공내 청소(b)

3. 대수성시험

일정시간 동안 관정에서 양수를 하며 대수층에서의 수두변화를 관측하는 시험 방법으로, 관정의 용량(capacity)과 수리 특성(hydraulic characteristic)을 결정할 수 있다. 양수시설 인양 전 및 재설치 후 기설관정의 지하수 시설물을 이용하여 대수성시험을 실시하고, 대수성 시험은 단계양수시험(5단계)과 장기양수시험(16시간)으로 구분하여 실시하였으며 관정정비 전·후 수리특성 변화를 파악하였다.

가. 단계양수시험

우물손실과 대수층 손실은 단계적으로 양수량을 증가시키면서 관정의 수위강하를 측정하는 단계양수시험 결과를 이용하여 평가되는데, 양수에 의해 대수층으로부터 직접 유입되는 층류와 우물자재와 공벽 사이에 있는 충전용 자갈을 통과한 난류에 의해 발생하는 수두손실(head loss)을 산출하는데 이용된다(Cooper and Jacob, 1946). 일반적으로 단계양수시험은 일정한 시간간격으로 양수량을 증가시켜가며 관정의 수위강하량을 측정하여 관정의 효율과 대수층의 생산성을 평가한다(Kruseman and de Ridder, 1991). 단계양수시험은 5단계로 구분하여 매 단계별 2시간 이상 시행하며, 토출량 조절은 관정별로 일정한 양수량을 안정적으로 유지하기 위하여 인버터(inverter)를 이용한 주파수변조기를 이용하였으며, 이를 이용하여 각 단계별로 계획된 토출량을 유지하도록 하였다. 지하수위 강하(수두손실)는 최소한 다음과 같은 인자로 구성된다. 대수층에서 지하수를 채수할 때 대수층 내에서 유동하는 지하수와 대수층 구성물질 사이에서 발생하는 마찰력에 의한 수두손실(대수층 수두손실)과, 대수층 내의 지하수가 일단 스크린을 통해 비교적 빠른 유속으로 우물 안으로 유입되어 양수기의 취수부까지 상승할 때 지하수와 케이싱 및 스크린 사이의 마찰에 의해 발생하는 수두손실(우물 수두손실)로 구분된다.

일반적으로 상기 두 인자 중 후자는 대체로 지하수 유속의 n 승에 비례하며 n 은 통상 2~3 사이이다. 따라서 대수성시험 시 발생하는 수두손실(지하수위 강하량) s_w 는 최소 두 요인의 합성분으로 구성되며, $s_w = BQ + CQ^2$ 로 표현된다. 여기서 B 및 C는 비례상수로서 BQ를 대수층 수두손실이라 하고 CQ^2 을 우물 수두손실이라 한다.

s_w 는 전기계에서 전위차에 비교할 수 있고 지하수량 Q 는 전류에 비교할 수 있으므로 B 를 대수층의 저항이라고도 부른다. 즉 B 는 우물 중심부에서 영향권 사이의 대수층 구간 내에서 일어나는 전체적인 수리저항(hydraulic resistance)이라 할 수 있다. Rorabaugh(1953)는 양수정에서 지하수를 채수할 때 전체 수위강하량(s_w)을 표현하였다. 직선법을 통해서 우물 수두손실계수와 대수층 수두손실계수를 추정할 수 있으며, $s_w = BQ + CQ^2$ 에서 양변을 양수량 Q 로 나누면 $s_w/Q = B + CQ$ 이 된다. 이때 s_w/Q 를 비수위강하량(specific drawdown)이라고 한다. 우물효율(well efficiency)은 전체 수두손실(수위강하량, s_w) 중 우물 수두손실을 제외한 대수층 수위강하량의 비율($W_E = [BQ/(BQ + CQ^2)] \times 100 = [B/(B + CQ)] \times 100, \%$)로 나타낼 수 있다. 지하수 관정을 장기간 사용 시 스크린의 유입로가 막히거나 암석성분의 침전이 있을 경우 우물효율은 떨어지게 되며, 관정정비 전후를 비교하여 우물의 개선 여부 평가를 할 수 있다.

본 연구에서는 공내 세척 전후의 수위강하량 변화값(Δs_w)과 공내 세척 이후의 비양수량(specific yield, Q_a/s_{wa}) 자료를 기초로 공내 세척 전후의 각 관정에 대한 개발 가능량의 증가량(ΔQ)을 정량적으로 평가하기 위하여, (식 7-1)과 같은 계산방식을 제시하였다.

$$\Delta Q = \Delta s_w \frac{Q_a}{s_{wa}}$$

[식 7-1]

나. 장기양수시험

현장에서 대수층의 수리상수 등 수리특성을 파악하기 위하여 수행하는 장기양수시험은, 양수정에서 지하수 배출로 인하여 발생하는 경과시간별 수위변화와 양수 중지 후 수위회복 관측 결과를 이용한다. Theis(1935)는 대수층 내에서의 지하수흐름과 도체 내에서의 열흐름의 유사성을 이용하여, 부정류 상태(transient state)하에 있는 지하수흐름에 관한 지배식의 해를 구한 바 있다. 특히 양수로 인한 새로운 평형상태가 이루어지기 전의 대수층의 수력학적 특성을 결정하는 공식을 Theis 비평형식이라고 하는데, 대부분의 경우 새로운 평형상태란 거의 형성되는데 보통 수개월에서 수년이 걸린다. 그러므로 정상상태에 도달하기 이전의 상태, 즉 부정류 또는 비정상류 상태 하에서 대수층의 투수량계수나 저류계수는 비평형방정식인 Theis식으로 구해야 한다. Theis 식의 가정은 다음과 같다.

- 지하수의 흐름은 Darcy법칙을 따른다.
- 대수층은 균질하고 등방성이며, 일정한 두께를 가지고 경사져 있지 않으며, 대수층의 범위는 무한하다.
- 시험정과 관측정은 대수층을 완전히 관통하고 공경은 무한소이다.

투수량계수와 저류계수를 계산하는데 사용되는 Theis의 비평형식은 (식 7-2)와 같으며, Theis 식은 포괄적인 평균값을 반영하므로 일반적으로 이용되고 있다.

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u), \quad S = \frac{4Tt}{r^2} u \quad \text{[식 7-2]}$$

이때, T: 투수량 계수(m³/min/m), Q: 양수량(m³/min), s: 수위강하량(m), S: 저류계수, t: 경과시간(min), W(u): 우물함수

$$\left(u = \frac{r^2 s}{4Tt} W(u) : \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \right), r: \text{양수정과 관측정 사이의 거리(m)}$$

(1) 장기양수시험 해석 시 유의사항

대수층의 특성을 나타내는 여러 가지 모양의 곡선은 표준곡선에 잘 맞춰지지 않는 경우가 많으며, 직선 해석 방법으로도 잘 맞지 않는 경우가 많이 있다. 이러한 경우는 대개 우물 저장효과에 의한 초기 자료의 변위, 누수 및 경계조건에 의한 후기 곡선의 변위 등에 의해서 일어난다. 이러한 시험곡선을 해석하려면 먼저 어떤 영향에 의해 곡선이 변위 되었는지 검토한 후에 적합한 해석곡선을 찾아 matching하여야 한다. 그러기 위하여 자료곡선을 우선 Theis의 표준곡선(type curve)에 matching하거나, Jacob법에 의해 직선해석을 한다. Theis 공식은 모든 방사상 흐름(radial flow)에 적용될 수 있는 기본공식 이므로, Theis의 표준곡선과 비교하여 대수층 특성을 추정할 수 있다.

일반적으로 우물 구경이 크거나 심도가 깊은 경우에는, 우물 저장량이 양수량에 비해 상당히 크므로 대수층의 수위강하가 양수량에 상응하게 일어나지 않는다. 이러한 우물저장 효과의 해석방법에 대하여는 Papadopoulos-Cooper(1967)의 large diameter well solution이 제안되었는데 우물저장 효과는 Log-Log그래프에서 기울기가 1에 가까운 직선을 보여준다. 그러므로 이 부분은 대수층 특성을 보여주는 것은 아니며, 초기자료가 표준곡선이 안 될 때는 이를 무시하여야 한다. <그림 7-6(a)>는 Theis 표준곡선에 의해 양수 후기 곡선을 비교한 사례이다. 그래프에 따르면 t=960분까지는 관측자료와 표준곡선이 잘 일치하는 것으로 나타나지만, 그 이후부터는 데이터가 존재하지 않아 960분 이후 양수를 진행하였을 때 3가지 형태로 변화가 나타날 수 있다. 960분 이후로 양수를 진행 할 때 양수량의 변동이 없고 표준곡선에 일치한다면 대수층 특성을 반영하는 것으로 해석이 가능하다. 그러나 표준곡선보다 아래쪽은 함양효과(recharge effect)를 반영하는 반면, 표준곡선 상부의 경우는 불투수성경계(negative boundary)의 영향으로 주변으로부터 지하수의 유입이 적어지는 결과를 나타낸다. 따라서 경계면의 거리는 960분 이후 X분 경과 시 양수에 의한 영향반경의 거리로 추정되며, 방향은 현장 수리지질 조사 결과에 따라 추정이 가능하다.

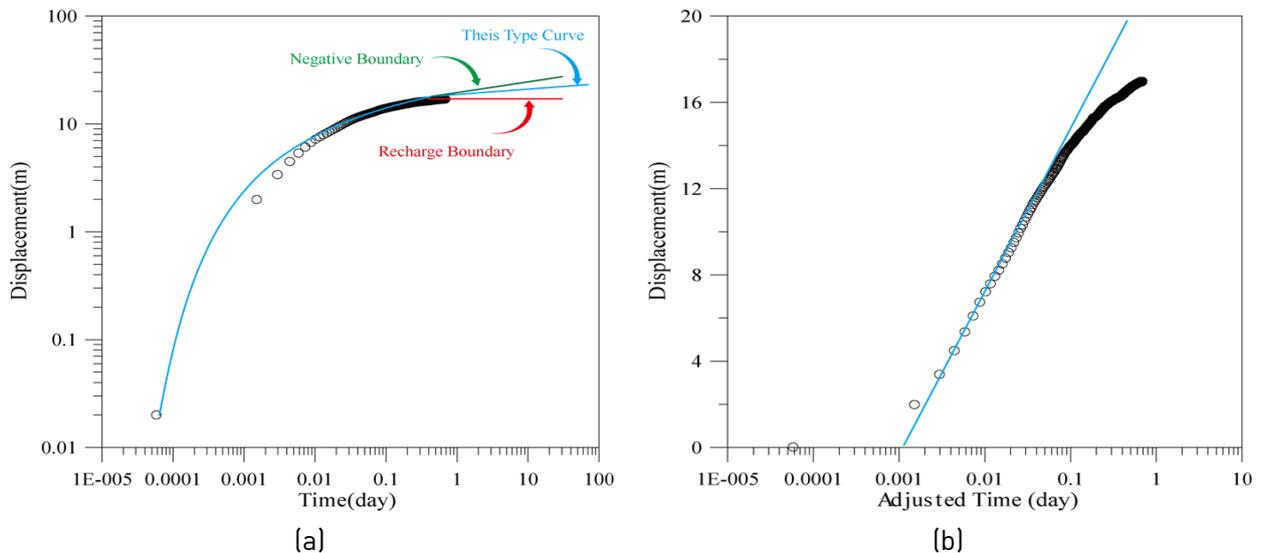


그림 7-6. 대수층 유형 및 경계면 추정에 따른 표준곡선(type curve) 매칭 방법:
Theis 곡선법에 의한 경계면 효과 추정(a)과 Cooper-Jacob법의 직선해석 구간(b)

〈그림 7-6(b)〉는 〈그림 7-6(a)〉의 자료를 Cooper-Jacob방법으로 직선 해석한 그림으로, 양수초기의 우물 저류효과와 양수후기의 함양효과를 분명히 보여주고 있다. 곡선 해석에서는 일치점(matching point)을 잡는 방법에 따라서 해석치가 상당히 달라질 수 있는데, Jacob방법에서는 중간부의 log cycle이 직선에 일치되도록 해석하면 이러한 오차를 줄이는데 매우 효과적이라고 할 수 있다.

지표의 함양원이 없는 지역에서 함양효과가 나타났다면 누수대수층의 영향으로 볼 수 있으므로 AQTESOLV 프로그램에서 Hantush의 표준곡선으로 해석할 수 있다. 깊은 균열암반 대수층의 양수시험자료는 Theis 표준곡선에 잘 matching되지 않는 경우가 자주 있다. Moench(1984)는 이러한 경우에 대하여 균열암반 이중 공극(double porosity)모델을 적용한 해석법을 제안하였다. 이것은 전산화되어 AQTESOLV 프로그램의 Fracture Menu로 포함되어 있다. Hantush 또는 Moench 해석에서는 T 대신 K로 구해지는데 $T=bK$ 이므로, 대수층 두께(saturated thickness)를 얼마로 입력하는가에 K값이 좌우된다. 수리전도도 K는 대수층 두께 b에 대한 평균값이므로 자유면 대수층에서는 자연수위 하부의 대수층 전 두께를, 피압대수층에서는 피압면 사이의 구간을 적용한다. 균열암반 대수층에서는 최상부의 파쇄대와 최하부의 파쇄대 사이를 b로 결정하여 암반의 평균 수리전도도를 구한다.

본 연구에서 관정주변의 대수층 특성을 분류할만한 정보는 없으나, 대수층 시험 해석 시 지하수 관정의 심도가 100m 내외로 형성되어 대수층이 피압되어 있을 가능성이 높은 것으로 판단하였고, 이에 피압대수층의 표준곡선 매칭을 통하여 해석하였으며, Theis 해석법에 의한 자료처리 시 후기 곡선이 실제 데이터에서 매칭이 안 될 경우에는 불투수경계면이나 함양경계면 효과를 나타내는 것으로 해석하였다(지표의 함양원이 없는 지역에서 함양효과가 나타난 경우 누수대수층의 표준곡선 매칭을 통하여 해석하여야 하지만 이를 배제하고 적용함). 조운주(2010)에 의해 수행된 양수시험 해석 시 동일 지하수 관측정에 대해 여러 가지 해석방법(Theis, Cooper-Jacob, PaPadopolos-Cooper)을 적용하고 피압대수층과 자유면대수층의 경우로 나누어 비교하였을 때

수리전도도는 큰 유사한 범위(0~1 order)내로 나타나며, 이는 대수층의 분류에 따른 해석방법에 따라 본 연구에서 수행한 수리전도도의 값이 어느 정도 차이를 보일 수 있음을 말한다.

(2) 단공양수시험 수행 시 저류계수 보정

대수성시험에서 관측공 없이 단공으로 양수시험을 시행하는 경우에는, 일반적으로 저류계수가 실제보다 크게 산정된다. 이를 보정하려면 유효우물반경을 계산하여 이를 가상의 관측정 거리로 입력하는 방법으로 시간-수위강하량 자료를 해석하여야 한다. 유효우물반경의 계산은 단계양수시험을 시행하거나 또는 스킨계수 공식을 적용하여 실행할 수 있다. 그러나 이 두 가지 방법 모두 연구대상 대수층의 저류계수를 추정하여 대입하는 시행착오 방식으로서 현장 적용성은 다소 부족하다. 이러한 요인으로 적정 유효우물반경 산정이 불확실하다면 수리지질 구조에 의한 지하수 부존 형태에 따라 저류계수를 추정하여 사용하는 수밖에 없다. Driscoll(1979)은 “피압대수층에 대하여 저류계수를 0.0005, 자유면대수층에서 저류계수를 0.1로 추정하는 것은 비록 실제의 값을 알았을 때보다는 덜 정확하지만 대부분의 경우에서 실제에 접근하는 결과를 가져온다”고 제시한 바 있다.

앞서 언급된 단공양수시험 시 과다하게 산출된 저류계수의 문제점에 대하여 최병수(2007)는 양수정과 관측정에서 동시에 수위강하를 측정한 136개소의 단공양수시험에서 얻어진 시간-수위강하량 자료로부터 저류계수를 적정하게 산정하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 양수정에서 산출된 저류계수 S를 독립변수로 하고 유효우물반경과의 관계를 상관분석하였는데, 자료 전체로 볼 때는 상관관계가 명확하지 않았다. 그러나 대수층 상태에 따라 자유면대수층, 누수대수층, 피압대수층으로 자료를 분류하고 계열별로 회귀분석을 시행한 결과 유효우물반경과 우물반경의 비(r_e/r_w)가 양수정 저류계수 S의 누승에 비례하는 것으로 나타났으며, 다음과 같이 대수층 조건에 따라 상수가 조금씩 다른 회귀공식을 산정하였다(표 7-5).

표 7-5. 대수층 유형에 따른 단공양수시험의 저류계수 보정 회귀공식

대수층 유형	회귀공식
자유면대수층	$\frac{r_e}{r_w} = 4.8 \times S^{0.48} (R^2 = 0.79)$
누수대수층	$\frac{r_e}{r_w} = 16.7 \times S^{0.46} (R^2 = 0.82)$
피압대수층	$\frac{r_e}{r_w} = 58.9 \times S^{0.58} (R^2 = 0.62)$

본 연구에서 수행한 장기(단공)양수시험 해석 시 최병수(2007)가 제시한 회귀공식을 적용하여 저류계수를 재산정 하였고, 저류계수 보정 시 AQTESOLV 프로그램의 Theis 표준곡선법으로 해석하였다. 양수정 자료의 해석에는 관측정 반경 r_w 을 1차로 우물반경 X_m 를 입력하여 표준곡선에 매칭 후 투수량계수(T)와 저류계수(S)를 구하였고, 우물반경 X_m 와 산정된 저류계수(S)를 회귀공식에 대입하여 유효 우물반경 r_e 을 도출하였다. 도출된 유효우물반경 r_e 을 2차로 우물반경에 다시 입력한 후, 1차 해석된 투수량계수(T)에 표준곡선 매칭으로 보정된 저류계수(S)를 산정하였다.

4. 수중TV 검증

양수시설 인양 및 관정정소 후 24시간 경과 후 총 2회 관정 내 수중TV 검증을 수행하였다. 수중TV 검증은 관정 내부상태를 파악하기 위해 실시하며 관정바닥까지 연속적으로 수중카메라를 삽입하여 관정심도, 케이싱 및 스크린 설치상태 등을 파악하였다. 또한 우물자재 재질, 설치상태, 연결부위 및 파손여부, 대수층 구간의 파쇄대 발달정도 관찰, 케이싱 하단부와 기반암과의 접촉상태 등을 관찰하며, 수중TV 검증 시 나타나는 부유물과 탁도 상황은 상, 중, 하로 구분하여 표기하였다. 금번 연구에서는 관정정비 전·후 수중TV 검증을 실시하여 관정정비에 따른 스크린 및 우물자재에 부착된 침전물의 제거정도 및 효율을 확인하고자 하였다.

제2절 연구결과

1. 관정시설 제원측정 결과

현장시험에 이용된 농어업용 관정시설은 총 12개소로, 파워 버블, 고전압 펄스 방전, 에어써징, 브러싱, 워터 제팅 방법으로 각각 4개소, 3개소, 3개소 1개소, 1개소를 대상으로 적용되었다(표 7-6).

표 7-6. 시설별 관정 및 양수시설 제원

시설명	관정정비 공법	굴착심도 (m)	케이싱		수중모터 펌프		
			구경(mm)	재질	설치심도(m)	사용전압(V)	마력(HP)
고안1	파워 버블	75	200	백관/PVC	54	380	5
대서		79	200	백관/PVC	66	380	3
제요2		80	200	백관/PVC	54	380	5
당진		80	200	백관/PVC	66	380	7.5
승두2	고전압 펄스 방전	99	200	백관/PVC	60	380	7.5
입암9		95	200	백관/PVC	54	380	5
당동		139	200	백관/PVC	72	380	3
상수6	에어써징	86	200	백관/PVC	54	380	5
제요1		99	200	백관/PVC	66	380	7.5
해창1	브러싱	99	200	백관/PVC	60	380	3
등원2		99	200	백관/PVC	62	380	3
선유1	워터제팅	106	200	백관/PVC	90	380	5

시설명	관정정비 공법	토출관			자연수위 (m)	양수량 (m ³ /day)	시설보호 형태
		구경(mm)	연결방식	재질			
고안1	파워 버블	40	플랜지	SUS	7.9	300	양수장옥
대서		40	플랜지	SUS	3.4	150	양수장옥
제요2		40	플랜지	SUS	2.8	254	양수장옥
당진		40	플랜지	SUS	5.3	162	양수장옥
승두2	고전압 펄스 방전	50	플랜지	SUS	2.2	350	양수장옥
입암9		50	플랜지	SUS	2.6	250	양수장옥
당동		40	플랜지	SUS	3.4	128	양수장옥
상수6	에어써징	50	플랜지	SUS	2.0	250	양수장옥
제요1		40	플랜지	SUS	1.7	200	양수장옥
해창1	브러싱	40	플랜지	SUS	1.2	100	양수장옥
등원2		40	플랜지	SUS	3.1	74	양수장옥
선유1	워터제팅	50	플랜지	SUS	2.4	201	양수장옥

수중 TV 검층으로 확인된 관정별 굴착심도는 75~139m로 나타났으며, 케이싱은 백관재질로 각각 200mm로 나타났다. 수중모터 펌프의 설치심도는 54~90m로, 일반적인 암반관정의 설치심도와 유사한 것으로 나타났다. 펌프의 용량은 3~7.5HP으로, 사용전압은 3상의 380V로 나타났다. 지하수위는 1.2~7.9m, 토출관은 스텐레이스 스틸 재질로 구경은 40mm이다. 양수시험을 위해 주파수 변조기를 이용하여 확인된 관정별 양수량은 74~350m³/일로 나타났다.

2. 대수성시험 결과

관정정비에 따른 우물효율의 개선 정도를 파악하고, 관정정비 전·후 우물효율을 비교·분석하기 위해 양수 시간 및 양수량을 동일선상에 최대한 맞추어 단계양수 시험을 수행하였다. 이때 총 5단계로 각 단계별로 양수 시간은 최소 2시간 이상으로 진행하였다. 또한 관정정비 전·후 단계양수시험 종료 시 지하수위가 초기수위로 완전히 회복한 이후 관정 주변의 수리지질특성인자를 최대한 파악하고자 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계 양수량에 최대한 맞추어 장기양수시험을 16시간 이상 수행하였고, 단계·장기양수시험 결과를 각각 비교·분석하여 종합·검토하였다.

가. 파워 버블 적용 시설

(1) 고안1 관정

고안1 관정에서 관정정비 전·후로 단계양수시험 결과, 관정정비 이전의 경우 마지막인 5단계(양수량 301m³/day)에서의 최대 수위강하량은 최대 9.00m인 반면, 관정정비 이후에는 마지막 5단계(양수량 305m³/day)에서의 최대 수위강하량은 8.27m 로 0.73m 감소된 것으로 나타났다(그림 7-7),(표 7-7).

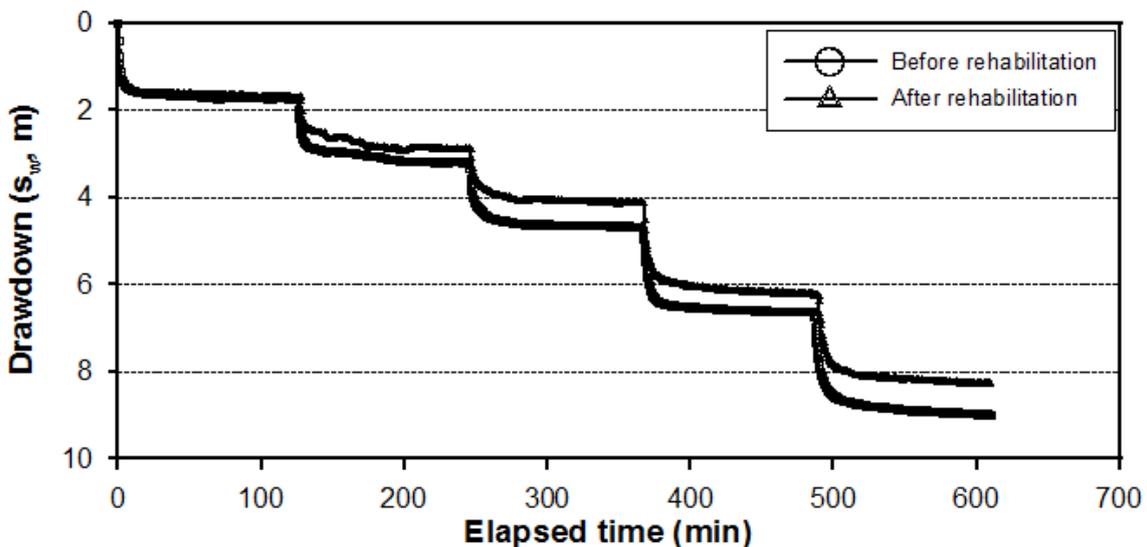


그림 7-7. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-7. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	125	99	1.72	1.72	57.55814	0.01737
제2단계	120	152	1.46	3.18	47.79874	0.02092
제3단계	120	199	1.48	4.66	42.70386	0.02342
제4단계	120	251	1.98	6.64	37.80120	0.02645
제5단계	124	301	2.36	9.00	33.44444	0.02990

관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	127	103	1.68	1.68	61.30952	0.01631
제2단계	120	149	1.20	2.88	51.73611	0.01933
제3단계	121	195	1.24	4.12	47.33010	0.02113
제4단계	122	253	2.11	6.23	40.60995	0.02462
제5단계	120	305	2.04	8.27	36.88029	0.02711

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량(s_w/Q)의 관계 그래프에서 비수위강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층 수두손실계수(B)와 우물 수두손실계수(C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-8>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-8).

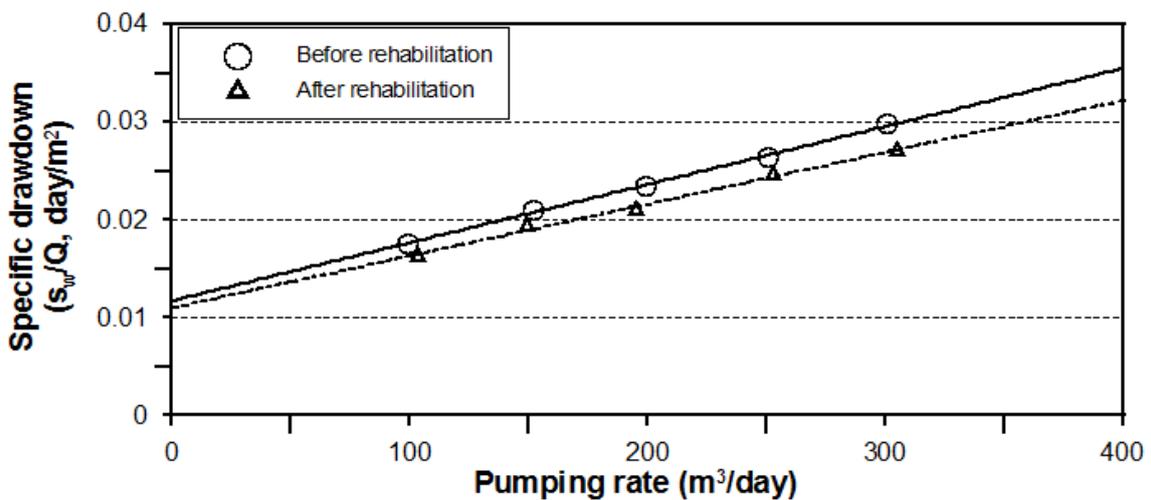


그림 7-8. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-8. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (99m ³ /day)	2단계 (152m ³ /day)	3단계 (199m ³ /day)	4단계 (251m ³ /day)	5단계 (301m ³ /day)
대수층수두손실계수(B)			0.011422		
우물수두손실계수(C)			0.000061		
우물효율(%)	65.41	55.19	48.48	42.73	38.35
관정정비 이후	1단계 (103m ³ /day)	2단계 (149m ³ /day)	3단계 (195m ³ /day)	4단계 (253m ³ /day)	5단계 (305m ³ /day)
대수층수두손실계수(B)			0.011054		
우물수두손실계수(C)			0.000053		
우물효율(%)	66.94	58.33	51.68	45.19	40.61

관정정비 전·후의 대수층 수두손실계수 및 우물 수두손실계수를 비교·검토한 결과 각각 약 97%와 약 87% 수준으로 감소하였다. 두 수리지질특성 인자 중 특히 우물 수두손실은 스크린 및 여과재 등의 침전물에 의한 공막힘 현상과 관련되므로 이러한 결과는 관정 공막힘 현상의 개선을 의미한다. 관정정비 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 증가하며, 5단계 양수량에 근접한 300 m³/day을 비교하였을 경우 우물효율이 약 2.6% 개선된 것으로 나타났다(그림 7-9),(표 7-9).

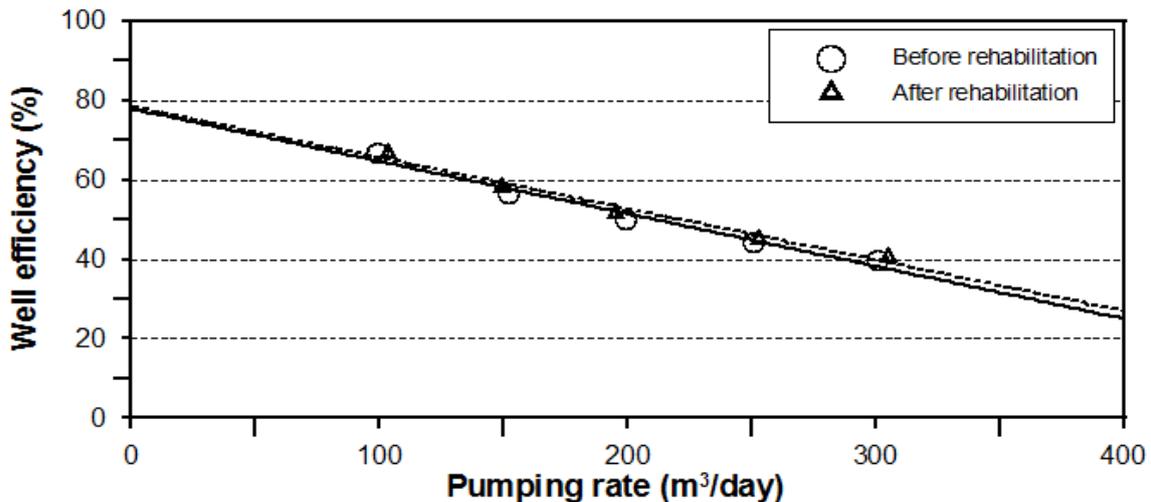


그림 7-9. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

표 7-9. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m ³ /day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
100	65.2	67.6	2.4
150	55.5	58.2	2.7
200	48.4	51.0	2.6
250	42.8	45.5	2.7
300	38.4	41.0	2.6

고안1 관정에서 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성인자를 최대한 파악하기 위해 관정정비 전·후 모두 동일하게 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량 300m³/day를 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하는 초기에 급격한 수위강하를 일으켰으며 양수를 진행할수록 수위강하는 서서히 감소하는 것으로 나타났으며, 관정정비 이전의 수위강하량 약 9.1m에서 관정정비 이후의 약 8.5m에서 준정류상태로 도달했다. 양수 시작 후 16시간을 기점으로 양수를 중지하고 장기양수시험을 종료하였다. 시간에 따른 지하수위 변화 양상과 장기양수시험 해석은 다음 <그림 7-10>에 제시하였으며, 해석 결과 수리지질 특성인자는 (표 7-10)에 정리하였다. 관정정비 이전과 이후의 투수량계수(T)는 각각 1.447cm²/sec와 1.760cm²/sec, 수리전도도(K)는 각각 2.202×10⁻⁴cm/sec와 2.649×10⁻⁴cm/sec, 저류계수(S)는 각각 0.00039와 0.00050으로 나타남에 따라, 관정정비 이후의 수리지질 특성인자는 유의할만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다.

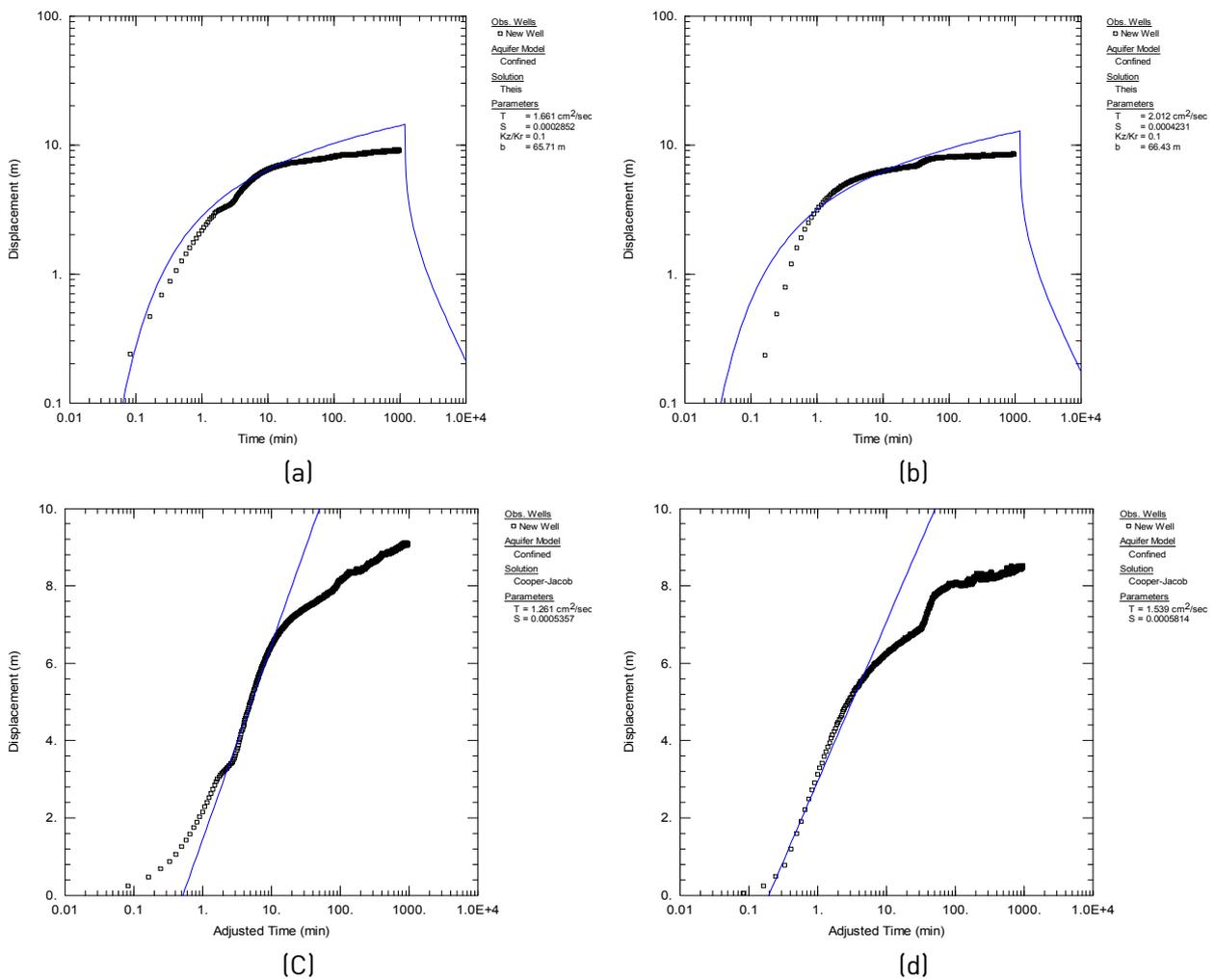


그림 7-10. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:

관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 Cooper-Jacob 해석(c), 관정정비 이후의 Theis 해석(b) 및 Cooper-Jacob 해석(d)

표 7-10. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과

관정정비 이전	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수률계수(T, cm ² /sec)	1.66	1.26	1.45
수리전도도(K, cm/sec)	2.53×10 ⁻⁴	1.92×10 ⁻⁴	2.20×10 ⁻⁴
저류계수(S)	0.00029	0.00054	0.00039
관정정비 이후	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수률계수(T, cm ² /sec)	2.01	1.54	1.76
수리전도도(K, cm/sec)	3.03×10 ⁻⁴	2.32×10 ⁻⁴	2.65×10 ⁻⁴
저류계수(S)	0.00042	0.00058	0.00050

(2) 대서 관정

대서 관정에 대한 관정정비 전·후의 단계양수시험 결과에 따른 수위강하량은 관정정비 이전 마지막 단계인 5단계에서의 최대 11.01m(양수량 143m³/day)인 반면 관정정비 이후 5단계에서는 최대 10.96m(양수량 145m³/day)으로 나타남에 따라 수위강하량 차이는 약 5cm로 매우 적은 것으로 나타났다(그림 7-11), (표 7-11).

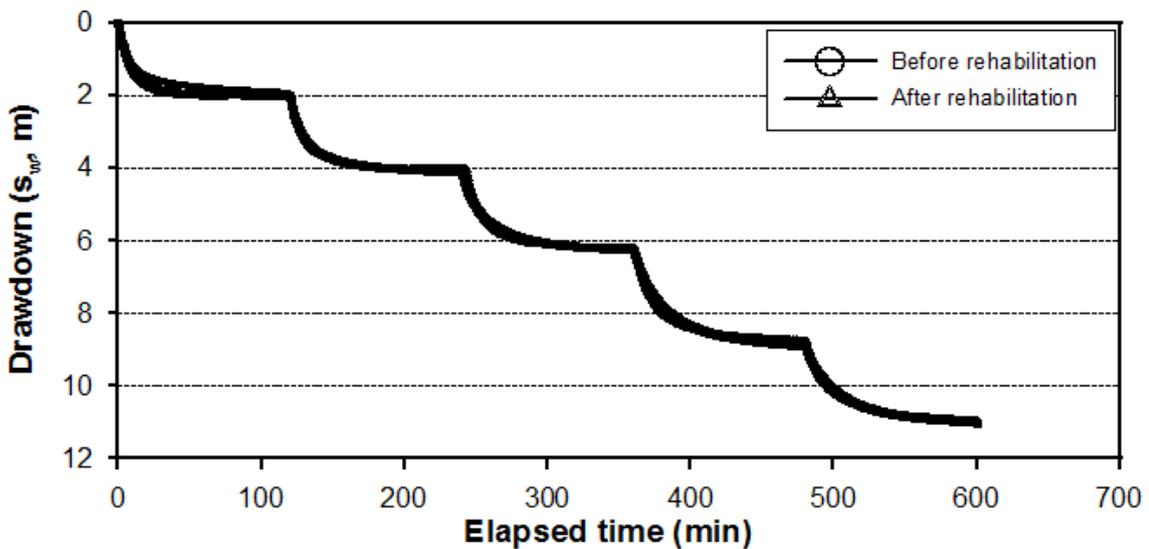


그림 7-11. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-11. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	34	2.02	2.02	16.83168	0.05941
제2단계	120	64	2.08	4.10	15.60976	0.06406
제3단계	120	91	2.15	6.25	14.56000	0.06868
제4단계	120	121	2.65	8.90	13.59551	0.07355
제5단계	120	143	2.11	11.01	12.98819	0.07699

관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	33	1.94	1.94	17.01031	0.05879
제2단계	123	63	2.05	3.99	15.78947	0.06333
제3단계	119	91	2.20	6.19	14.70113	0.06802
제4단계	120	121	2.55	8.74	13.84439	0.07223
제5단계	121	145	2.22	10.96	13.22498	0.07561

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량(s_w/Q)의 관계 그래프에서 비수위강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층 수두손실계수(B)와 우물 수두손실계수(C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-12>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-12).

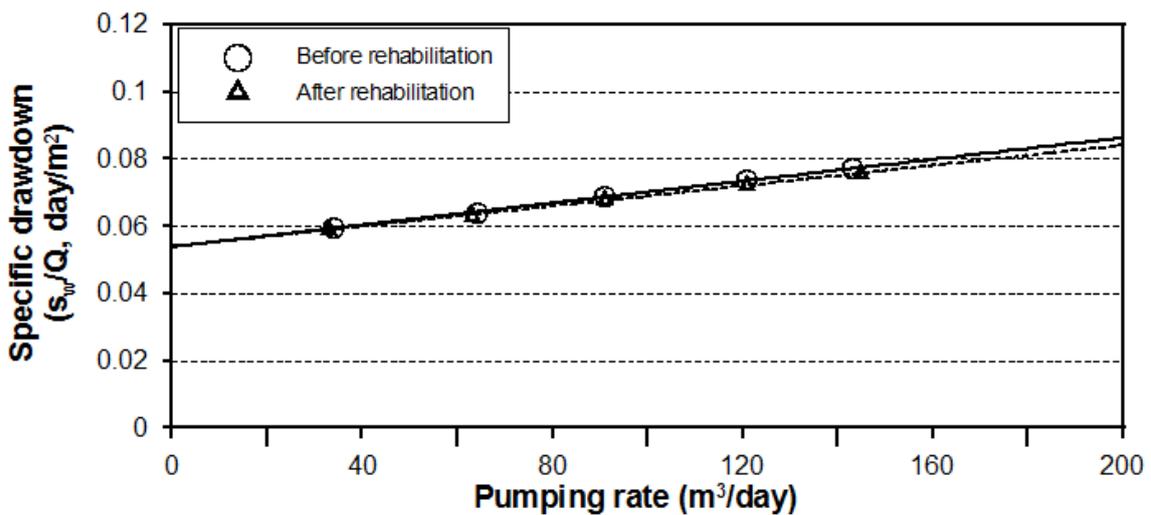


그림 7-12. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-12. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (34m ³ /day)	2단계 (64m ³ /day)	3단계 (91m ³ /day)	4단계 (121m ³ /day)	5단계 (143m ³ /day)
대수층수두손실계수(B)			0.053827		
우물수두손실계수(C)			0.000162		
우물효율(%)	90.72	83.85	78.50	73.30	69.91
관정정비 이후	1단계 (33m ³ /day)	2단계 (63m ³ /day)	3단계 (91m ³ /day)	4단계 (121m ³ /day)	5단계 (145m ³ /day)
대수층수두손실계수(B)			0.053919		
우물수두손실계수(C)			0.000151		
우물효율(%)	91.54	85.00	79.69	74.69	71.12

관정정비 전·후의 대수층 수두손실계수 및 우물 수두손실계수를 비교·검토한 결과, 대수층 수두손실계수는 거의 변화가 없는 반면 우물 수두손실계수는 약 93% 수준으로 감소하였다. 관정정비 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 증가하였으며, 5단계 양수량에 근접한 150m³/day을 비교하였을 경우 우물효율이 약 1.5% 개선된 것으로 나타났다(그림 7-13), (표 7-13).

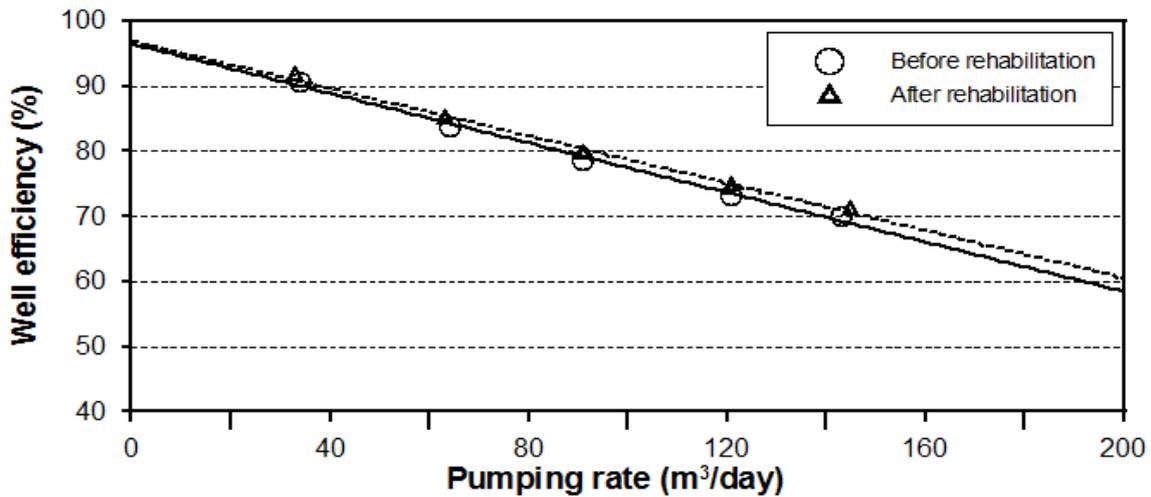


그림 7-13. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

표 7-13. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m ³ /day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
30	91.7	92.2	0.5
60	84.7	85.6	0.9
90	78.7	79.9	1.2
120	73.5	74.8	1.3
150	68.9	70.4	1.5

대서 관정에서 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성인자를 최대한 파악하기 위해 관정정비 전·후 모두 동일하게 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량 138m³/day를 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하 양상은 양수 초기에 급격한 수위강하가 나타났으며, 양수를 진행할수록 수위강하는 서서히 감소하여 관정정비 이전과 이후의 수위강하량은 각각 약 11.14m와 약 11.06m로 나타났다. 시간에 따른 지하수위 변화 양상과 장기양수시험 해석은 <그림 7-14>에 제시하였으며, 해석결과에 의한 수리지질 특성인자는 (표 7-14)에 정리하였다. 관정정비 이전과 이후의 투수량계수는 각각 $4.029 \times 10^{-1} \text{cm}^2/\text{sec}$ 와 $4.490 \times 10^{-1} \text{cm}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $5.319 \times 10^{-5} \text{cm}/\text{sec}$ 와 $5.925 \times 10^{-5} \text{cm}/\text{sec}$, 저류계수는 0.00045와 0.00057으로 산출됨에 따라 수리지질 특성인자에서 유의할만한 변화는 나타나지 않았다.

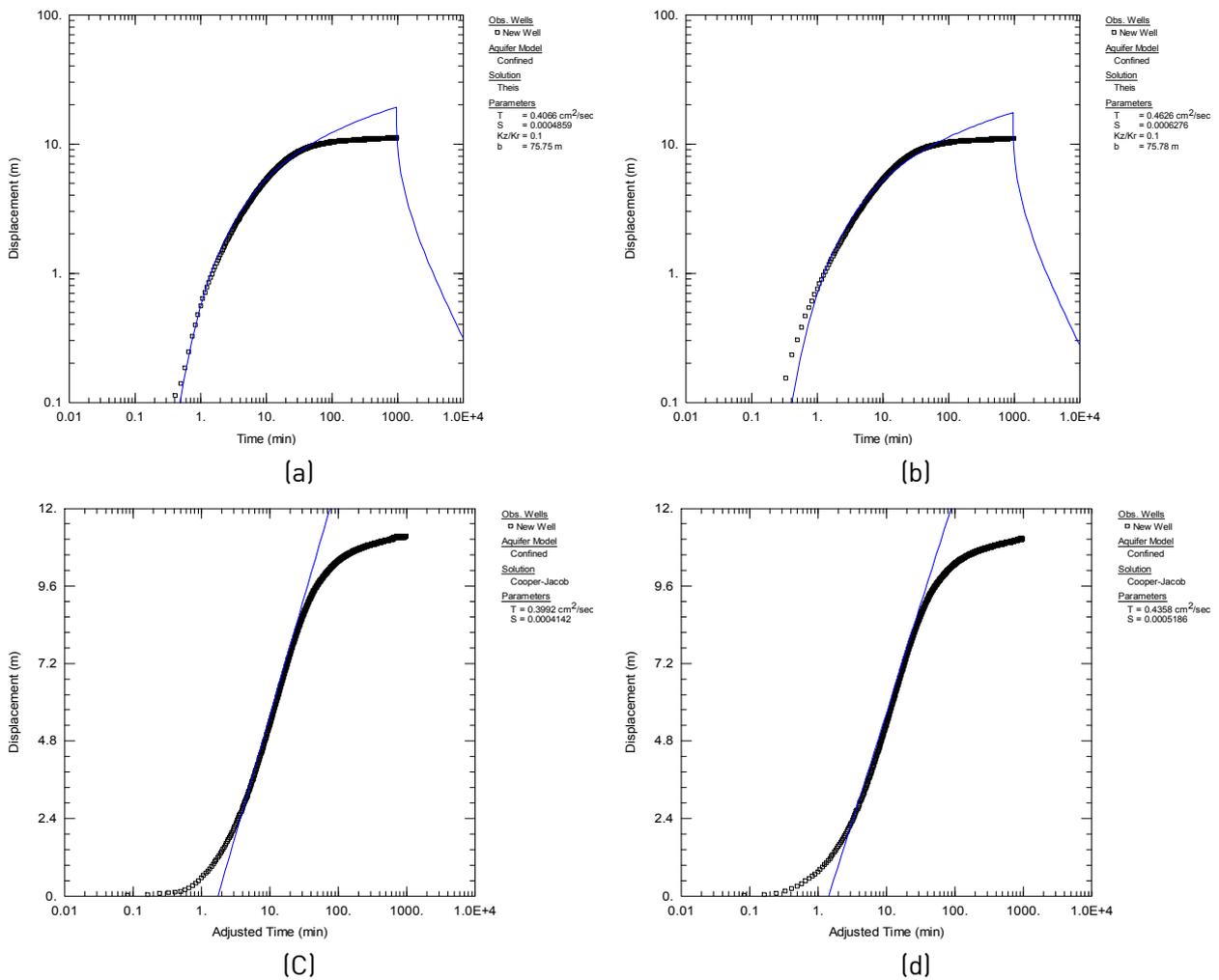


그림 7-14. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:

관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 Cooper-Jacob 해석(c), 관정정비 이후의 Theis 해석(b) 및 Cooper-Jacob 해석(d)

표 7-14. 대서 관정정비 전·후 장기양수시험 결과

관정정비 이전	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수률계수(T, cm ² /sec)	4.07×10 ⁻¹	3.99×10 ⁻¹	4.03×10 ⁻¹
수리전도도(K, cm/sec)	5.37×10 ⁻⁵	5.27×10 ⁻⁵	5.32×10 ⁻⁵
저류계수(S)	0.00049	0.00041	0.00045
관정정비 이후	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수률계수(T, cm ² /sec)	4.63×10 ⁻¹	4.36×10 ⁻¹	4.49×10 ⁻¹
수리전도도(K, cm/sec)	6.10×10 ⁻⁵	5.75×10 ⁻⁵	5.93×10 ⁻⁵
저류계수(S)	0.00063	0.00052	0.00057

(3) 제요2 관정

제요2 관정에 대한 관정정비 전·후의 단계양수시험 결과에 따른 수위강하량은 관정정비 이전 마지막 단계인 5단계에서의 최대 15.83m(양수량 254m³/day)인 반면 관정정비 이후 5단계에서는 최대 13.32m(양수량 226 m³/day)으로 나타남에 따라 수위강하량 차이는 약 2.51m로 나타났다(그림 7-15), (표 7-15).

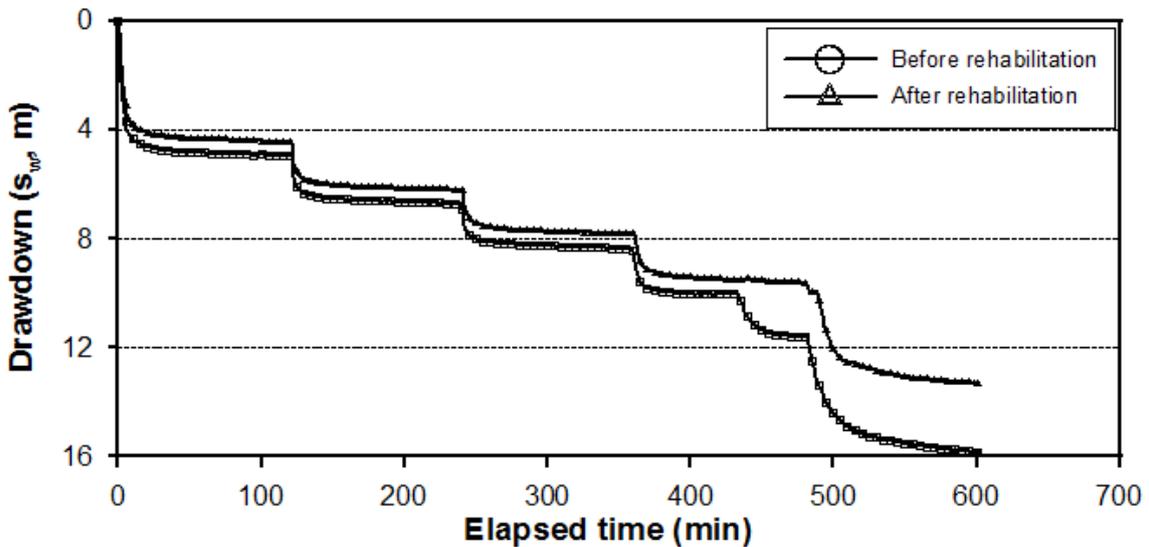


그림 7-15. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-15. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	121	4.95	4.95	24.48485	0.04084
제2단계	120	157	1.76	6.71	23.42074	0.04270
제3단계	120	199	1.69	8.41	23.70018	0.04219
제4단계	120	228	3.23	11.63	19.60447	0.05101
제5단계	120	254	4.20	15.83	16.04548	0.06232

관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	103	4.46	4.46	23.15459	0.04319
제2단계	120	137	1.74	6.20	22.07164	0.04531
제3단계	120	164	1.62	7.82	21.02302	0.04757
제4단계	120	202	1.82	9.64	20.92372	0.04779
제5단계	120	226	3.69	13.32	16.93694	0.05904

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량(s_w/Q)의 관계 그래프에서 비수위강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층 수두손실계수(B)와 우물 수두손실계수(C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-16>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-16).

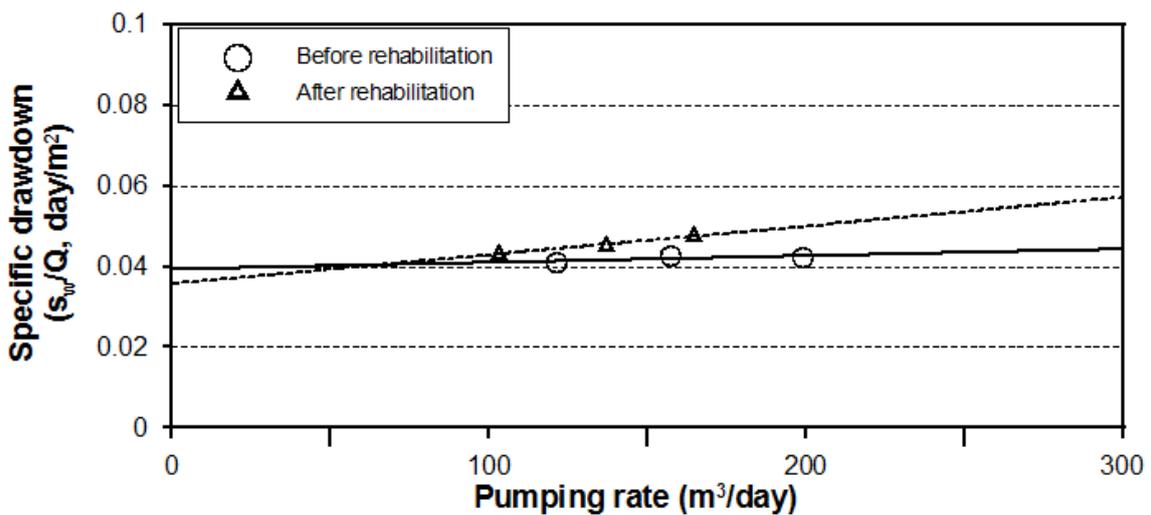


그림 7-16. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-16. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (121m ³ /일)	2단계 (157m ³ /일)	3단계 (199m ³ /일)	4단계 (228m ³ /일)	5단계 (254m ³ /일)
대수층수두손실계수(B)			0.034594		
우물수두손실계수(C)			0.00005154		
우물효율(%)	84.70	81.02	77.11	76.64	72.54
관정정비 이후	1단계 (121m ³ /일)	2단계 (137m ³ /일)	3단계 (164m ³ /일)	4단계 (202m ³ /일)	5단계 (226m ³ /일)
대수층수두손실계수(B)			0.038540		
우물수두손실계수(C)			0.00004900		
우물효율(%)	88.40	85.18	82.71	79.60	77.71

관정세정 전·후 대수층수두손실계수 및 우물수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층수두손실계수는 약 111.4%로 증가하였고, 우물수두손실계수는 약 95.1% 수준으로 감소하였다. 두 수리지질특성인자 모두 큰 변화는 나타나지 않았으나, 우물수두손실이 유공관 및 여과재 등의 침전물에 의한 공막힘 현상과 관련되므로 어느 정도 관정 공막힘 현상의 개선을 나타내는 것으로 판단된다(그림 7-17),(표 7-17).

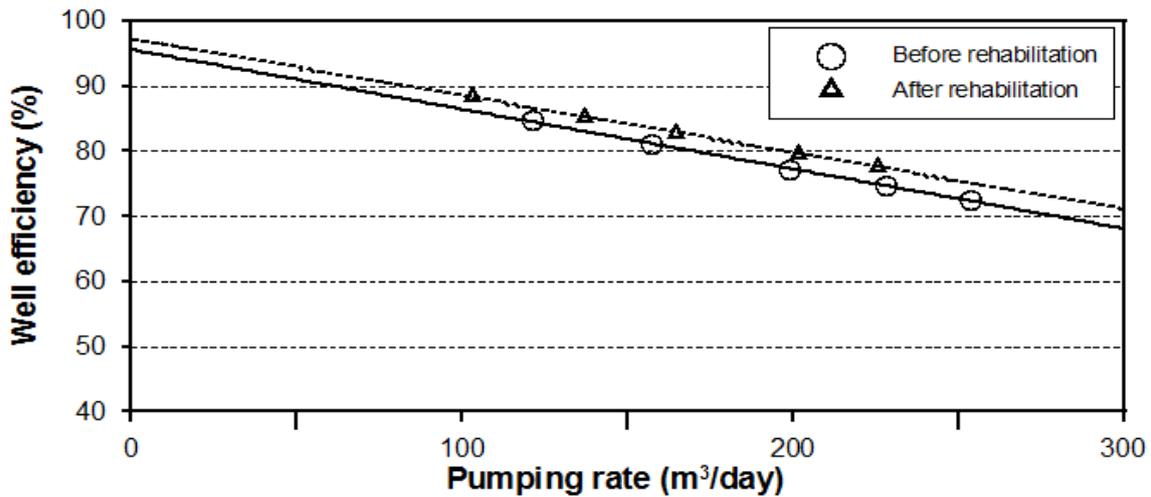


그림 7-17. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

표 7-17. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m ³ /day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
50	93.07	94.02	101.03
100	87.03	88.72	101.94
150	81.73	83.98	102.75
200	77.04	79.73	103.49
250	72.86	75.88	104.15

제요2 관정에서 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성 인자를 파악하기 위해 관정정비 전·후 모두 두 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량으로 각각 253.5m³/일과 222.7m³/일을 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하는 관정정비 전·후 모두 초기 급격한 수위강하 이후 점차 완만해지는 일반적인 수위강하 곡선과 달리, 지표 하부 약 13m 지점 부근에서 변곡점이 나타났다. 이는 단계양수시험 4단계에서 나타난 수위강하 심도로써 외부 케이싱 등 우물자체의 영향 또는 누수대수층에 의한 이상현상으로 추정된다. 주 대수층의 특성을 대표하는 구간이 변곡점 이후 구간으로 추정되므로 이 구간에 해석곡선이 중첩하도록 해석하였다. 시간에 따른 지하수위 변화 양상과 장기양수시험 자료 해석은 <그림 7-18>에 제시하였으며, 해석 결과 수리지질 특성인자는 (표 7-18)에 정리하였다.

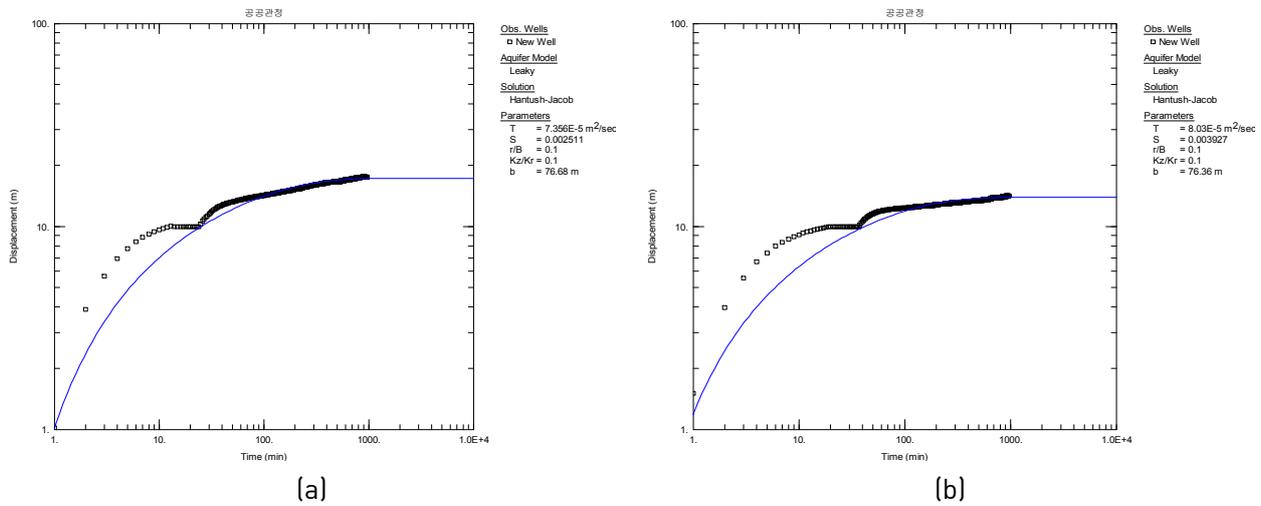


그림 7-18. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:
관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 관정정비 이후의 Theis 해석(b)

관정정비 이전과 이후의 투수량계수는 각각 $7.36 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ 와 $8.03 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $9.59 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ 와 $1.25 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$, 저류계수는 0.002511와 0.003927으로 산출됨에 따라, 언급된 수리지질특성 인자에서 유의할 만한 변화는 나타나지 않은 것으로 해석된다.

7-18. 제요2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과

수리지질특성 인자	관정정비 이전	관정정비 이후
투수량계수(T, m ² /sec)	7.36×10^{-5}	8.03×10^{-5}
수리전도도(K, m/sec)	9.59×10^{-7}	1.25×10^{-6}
저류계수(S)	0.002511	0.003927

(4) 당진 관정

당진 관정에 대한 관정세정 전·후로 단계양수시험 모든 단계에서 안정수위를 확인하지 못했으며, 천이

(transient)상태에서 다음 양수량 단계로 진행하였다. 시험과정에서 각 단계의 지하수위가 정상상태에 도달하지는 못하였으나 각 단계별 일정한 양수시간을 유지하였기 때문에, 정상상태가 아닌 상태에서 단계별 수위강하량을 추정하는 방법을 적용하여 해석하였다(이진용 외 2005). <그림 7-19>, <표 7-19>.

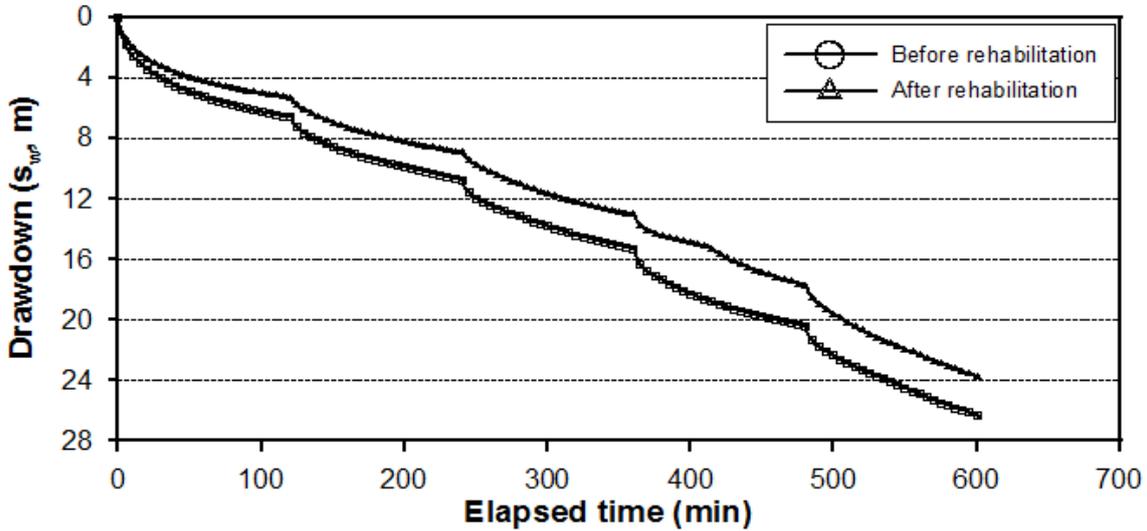


그림 7-19. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-19. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량				비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs'	Δs	s _w '(m)	s _w (m)		
제1단계	120	80	6.61	6.61	6.61	6.61	12.10287	0.08263
제2단계	120	98	2.35	4.14	8.96	10.75	10.97992	0.09108
제3단계	120	124	2.48	4.61	11.44	15.36	10.80348	0.09256
제4단계	120	146	2.29	5.06	13.73	20.42	10.66204	0.09379
제5단계	120	162	3.61	5.92	17.35	26.34	9.33964	0.10707
관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량				비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs'	Δs	s _w '(m)	s _w (m)		
제1단계	120	79	5.32	5.32	5.32	5.32	14.88722	0.06717
제2단계	120	103	1.97	1.97	7.29	8.94	14.15065	0.07067
제3단계	120	126	2.44	2.44	9.73	13.05	12.94660	0.07724
제4단계	120	149	2.80	2.80	12.53	17.77	11.87270	0.08423
제5단계	120	164	2.73	2.73	15.26	23.81	10.77172	0.09284

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량(s_w/Q)의 관계 그래프에서 비수위강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층 수두손실계수(B)와 우물 수두손실계수(C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수

있다. <그림 7-20>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-20).

관정세정 전·후 대수층수두손실계수 및 우물수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층수두손실계수는 약 74.3%, 우물수두손실계수는 약 98.5% 수준으로 각각 감소하였다. 두 수리지질특성 인자 모두 큰 변화는 나타나지 않았으나, 우물 수두손실이 유공관 및 여과재 등의 침전물에 의한 공막힘 현상과 관련되므로 어느정도 관정 공막힘 현상의 개선을 나타내는 것으로 판단된다(그림 7-21),(표 7-21).

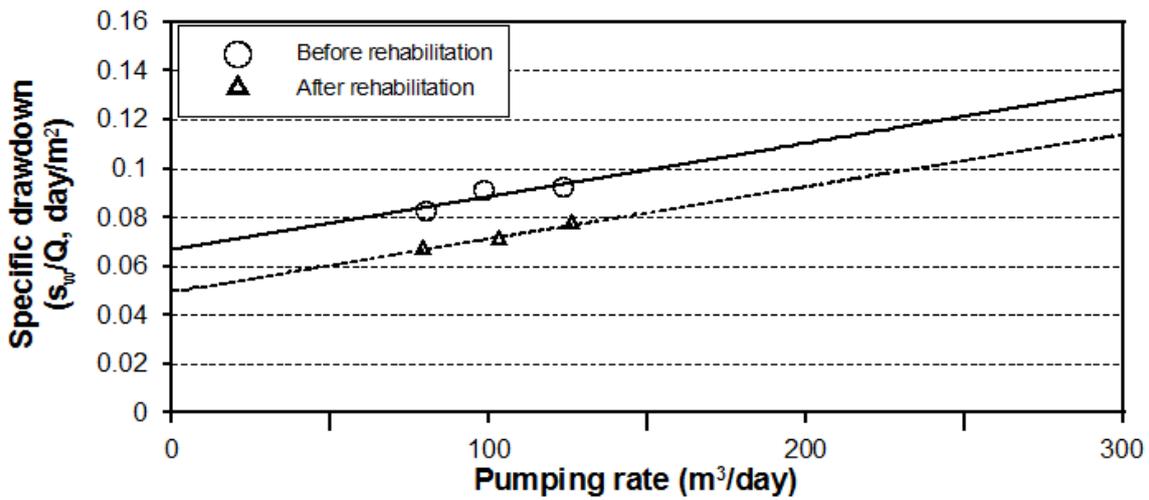


그림 7-20. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-20. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정세정 이전	1단계 (80 m³/일)	2단계 (98 m³/일)	3단계 (124 m³/일)	4단계 (146 m³/일)	5단계 (162 m³/일)
대수층수두손실계수(B)			0.066823		
우물수두손실계수(C)			0.0002179		
우물효율(%)	79.31	75.71	71.28	67.69	65.44
관정세정 이후	1단계 (79 m³/일)	2단계 (103 m³/일)	3단계 (126 m³/일)	4단계 (149 m³/일)	5단계 (164 m³/일)
대수층수두손실계수(B)			0.049639		
우물수두손실계수(C)			0.0002145		
우물효율(%)	74.50	69.16	64.74	60.86	58.46

당진 관정에 대한 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성 인자를 파악하기 위해 관정정비 전·후 모두 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량으로 각각 163.0m³/day과 170.1m³/day를 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하 양상을 살펴보면 단계양수시험과 마찬가지로 안정수위는 확인하지 못하였으나 양수 시작 이후 16시간을 기점으로 양수를 중지하고 장기양수시험을 종료하였다. 관정정비 이전의

경우 16시간 경과 이후 수위강하량 약 33.83m, 세정 후의 경우 16시간 경과 후 수위강하량 약 33.44m로 나타났
다(그림 7-22), (표 7-22).

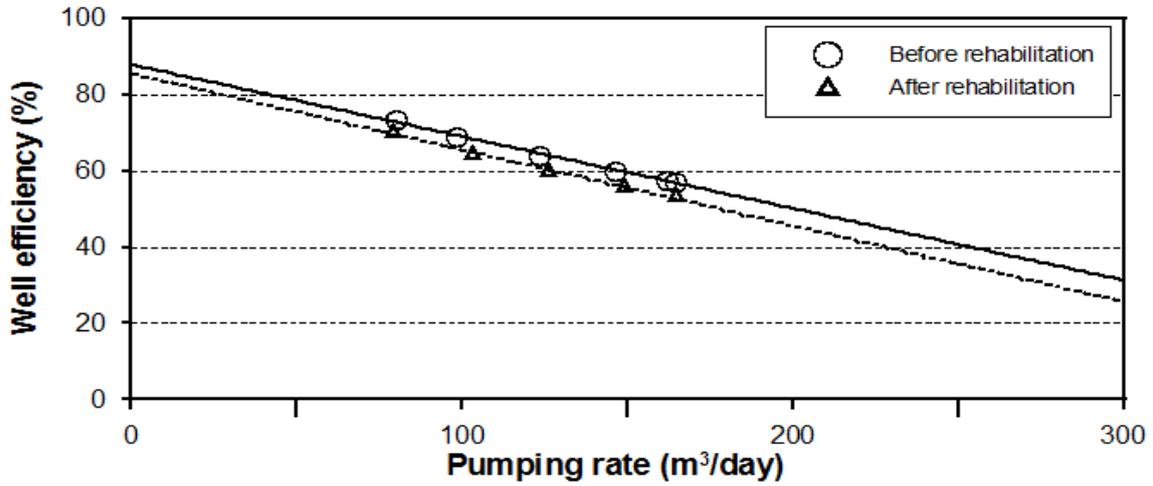
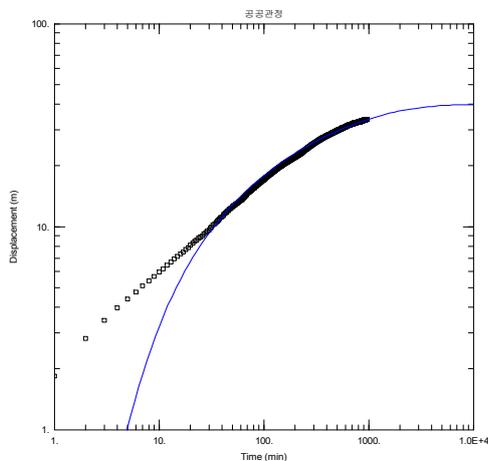


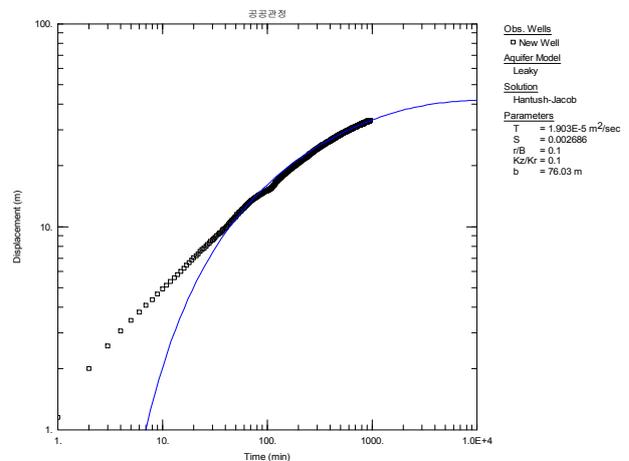
그림 7-21. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

표 7-21. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m³/day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
30	91.09	88.52	97.18
60	83.64	79.41	94.94
90	77.31	72.00	93.12
120	71.88	65.85	91.61
160	65.72	59.12	89.96



(a)



(b)

그림 7-22. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:
관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 관정정비 이후의 Theis 해석(b)

관정정비 이전과 이후의 경우 투수량계수는 각각 $1.91 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ 와 $1.90 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $2.54 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ 와 $2.50 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$, 저류계수는 0.002579와 0.002686으로 산출되어 언급된 수리지질특성 인자에서 유의할 만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다.

표 7-22. 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과

수리지질특성 인자	관정정비 이전	관정정비 이후
투수량계수(T, m^2/sec)	1.91×10^{-5}	1.90×10^{-5}
수리전도도(K, m/sec)	2.54×10^{-7}	2.50×10^{-6}
저류계수(S)	0.002579	0.002688

나. 고전압 펄스 방전 수행 시설

(1) 승두2 관정

승두2 관정에서 관정정비 전·후로 단계양수시험 결과 수위강하량을 비교하여 분석한 결과, 관정정비 이전 5단계에서 최대 수위강하량이 6.30m(양수량 $350 \text{ m}^3/\text{day}$) 발생한 반면, 관정정비 이후에는 최대 6.00m(양수량 $350 \text{ m}^3/\text{day}$)로 약 30cm 감소한 것으로 나타났다(그림 7-23), (표 7-23).

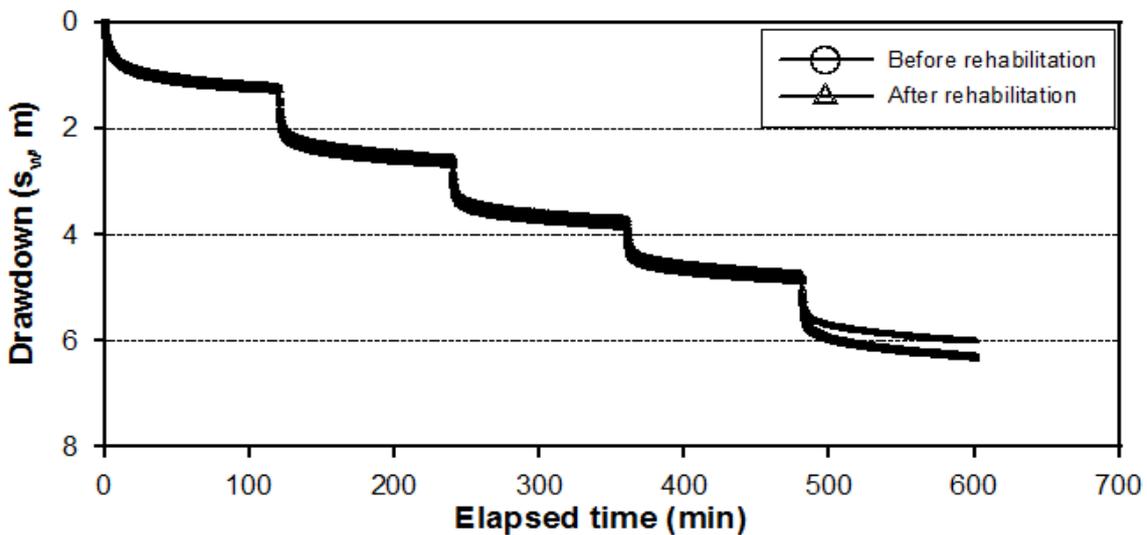


그림 7-23. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-23. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	145	1.25	1.25	116.00000	0.00862
제2단계	120	204	1.41	2.66	76.69173	0.01304
제3단계	120	255	1.17	3.83	66.57963	0.01502
제4단계	120	300	1.02	4.85	61.85567	0.01617
제5단계	120	350	1.45	6.30	55.55556	0.01800

관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	143	1.21	1.21	118.18182	0.00846
제2단계	120	206	1.34	2.55	80.78431	0.01238
제3단계	120	256	1.15	3.70	69.18919	0.01445
제4단계	120	300	1.02	4.72	63.55932	0.01573
제5단계	120	350	1.28	6.00	58.33333	0.01714

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량의 관계 그래프에서 비수위 강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층수두손실계수(B)와 우물수두손실계수 (C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-24>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-24).

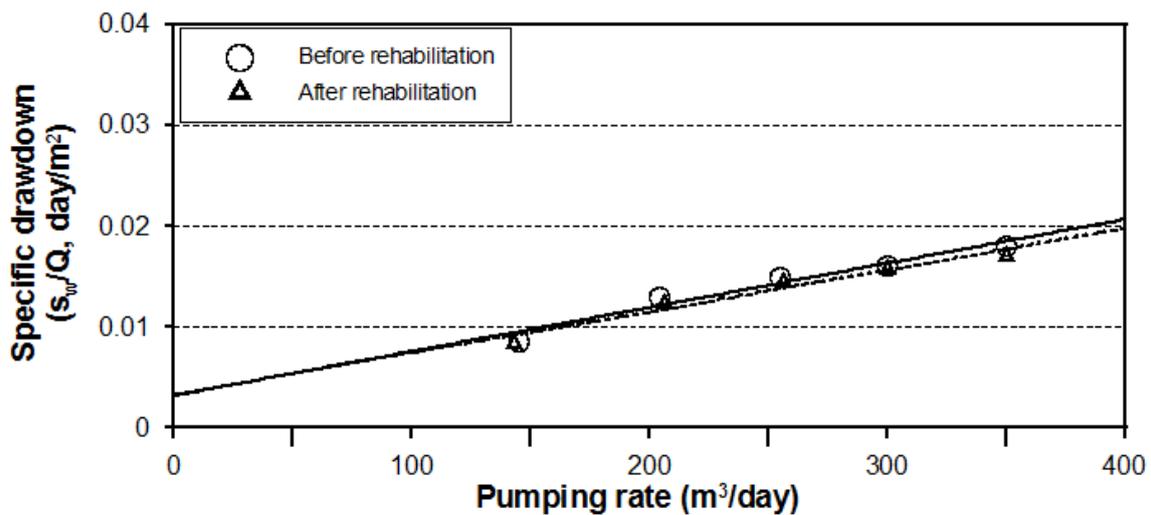


그림 7-24. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-24. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (145m ³ /day)	2단계 (204m ³ /day)	3단계 (255m ³ /day)	4단계 (300m ³ /day)	5단계 (350m ³ /day)
대수층수두손실계수(B)			0.003206		
우물수두손실계수(C)			0.000044		
우물효율(%)	33.44	26.32	22.22	19.54	17.23
관정정비 이후	1단계 (143m ³ /day)	2단계 (206m ³ /day)	3단계 (256m ³ /day)	4단계 (300m ³ /day)	5단계 (350m ³ /day)
대수층수두손실계수(B)			0.003276		
우물수두손실계수(C)			0.000041		
우물효율(%)	35.85	27.95	23.79	21.03	18.59

관정정비 전·후 대수층수두손실계수 및 우물수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층수두손실계수는 약 102% 수준으로 증가하였고, 우물수두손실계수는 약 93% 수준으로 감소하였다. 관정정비 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 증가하며, 5단계 양수량에 근접한 350 m³/day을 비교하였을 경우 우물효율이 약 1.4% 개선된 것으로 나타났다(그림 7-25),(표 7-25).

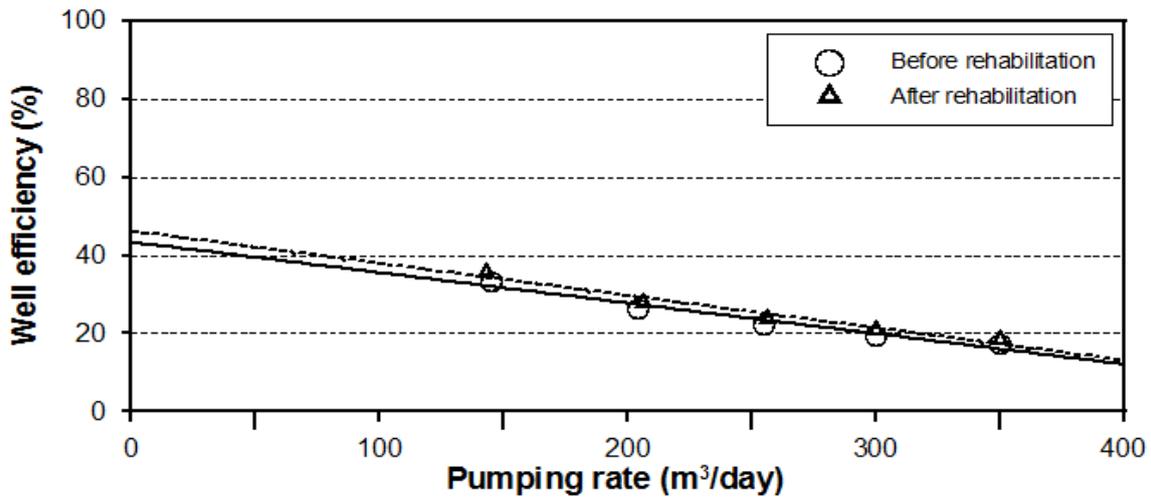


그림 7-25. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

표 7-25. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m ³ /day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
150	32.7	34.8	2.1
200	26.7	28.5	1.8
250	22.6	24.2	1.6
300	19.5	21.0	1.5
350	17.2	18.6	1.4

승두2 관정에서 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성인자를 최대한 파악하기 위해 관정정비 전·후 모두 동일하게 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계 양수량 350m³/day를 적용하여 시행하였다. 양수 시간에 따른 수위강하 양상을 살펴보면 초기에 급격한 수위강하를 일으켰으며 양수를 진행할수록 수위강하는 서서히 감소하여 관정정비 전의 경우 수위 강하량 약 6.8m, 관정정비 후의 경우 수위강하량 약 6.2m에서 준정류상태로 도달했다. 양수 시작 후 16시간을 기점으로 양수를 중지하고 장기양수시험을 종료하였다. 시간에 따른 지하수위 변화 양상과 장기양수시험 해석은 다음 그림에 나타내었으며 해석결과 수리지질 특성인자는 다음 표에 정리하였다. 관정정비 이전과 이후의 투수량계수는 각각 3.304cm²/sec와 4.057cm²/sec, 수리전도도는 3.454×10⁻⁴ cm/sec와 4.203×10⁻⁴ cm/sec, 저유계수는 0.00034와 0.00051으로 산출되어 언급된 수리지질 특성인자에서 유의할만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다(그림 7-26),(표 7-26).

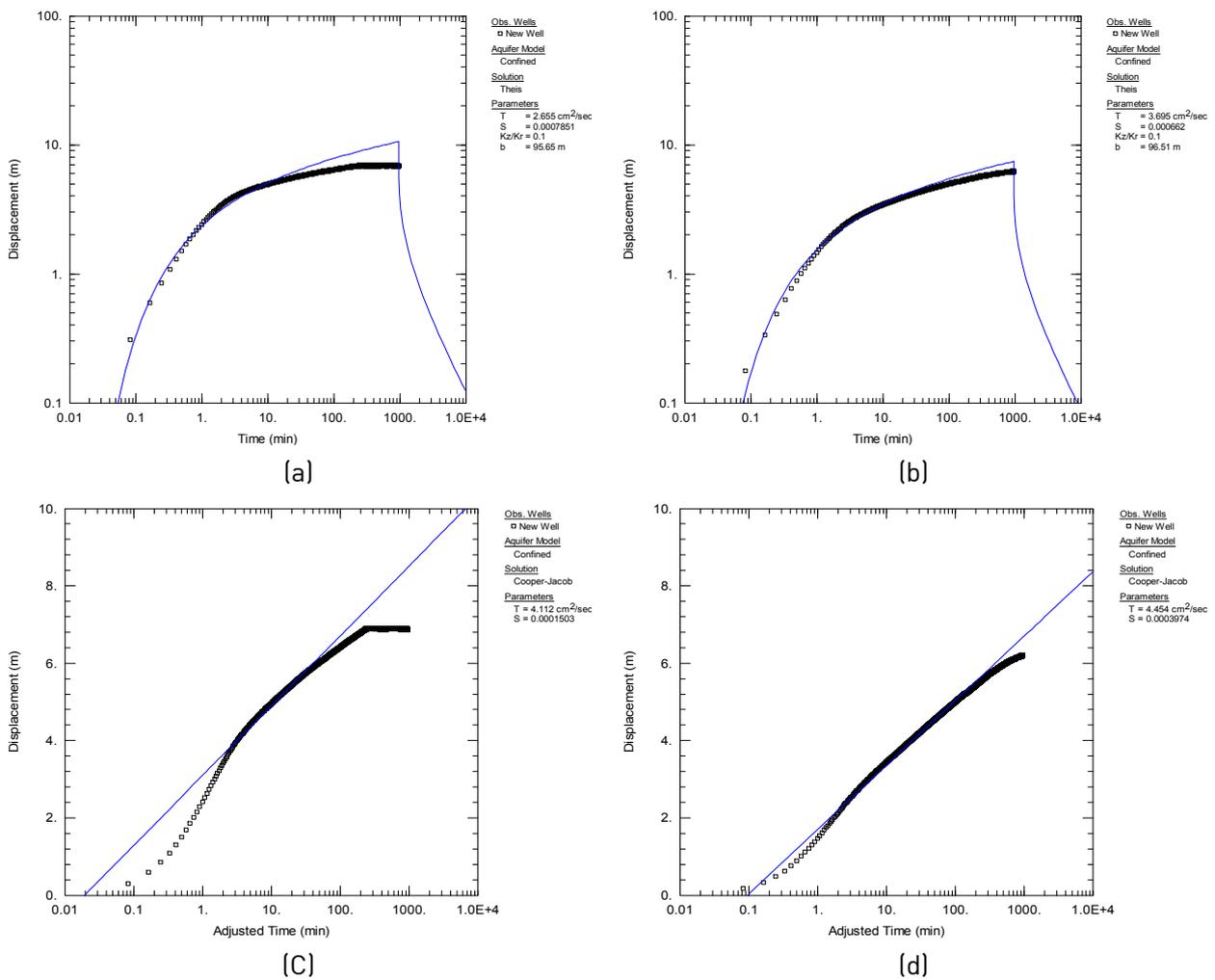


그림 7-26. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:

관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 Cooper-Jacob 해석(c), 관정정비 이후의 Theis 해석(b) 및 Cooper-Jacob 해석(d)

표 7-26. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표

관정정비 이전	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm ² /sec)	2.66	4.11	3.30
수리전도도(K, cm/sec)	2.78×10 ⁻⁴	4.30×10 ⁻⁴	3.45×10 ⁻⁴
저유계수(S)	0.00079	0.00015	0.00034
관정정비 이후	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm ² /sec)	3.70	4.45	4.06
수리전도도(K, cm/sec)	3.83×10 ⁻⁴	4.62×10 ⁻⁴	4.20×10 ⁻⁴
저유계수(S)	0.00066	0.00040	0.00051

(2) 입암9 관정

입암9 관정에서 관정정비 전·후로 단계양수시험 결과 수위강하량을 비교하여 분석했을 때, 관정정비 이전 5단계에서 최대 5.04m(양수량 250m³/day) 일어난 반면 관정정비 이후 최대 4.40m(양수량 252m³/day)까지 감소하였다(그림 7-27), (표 7-27).

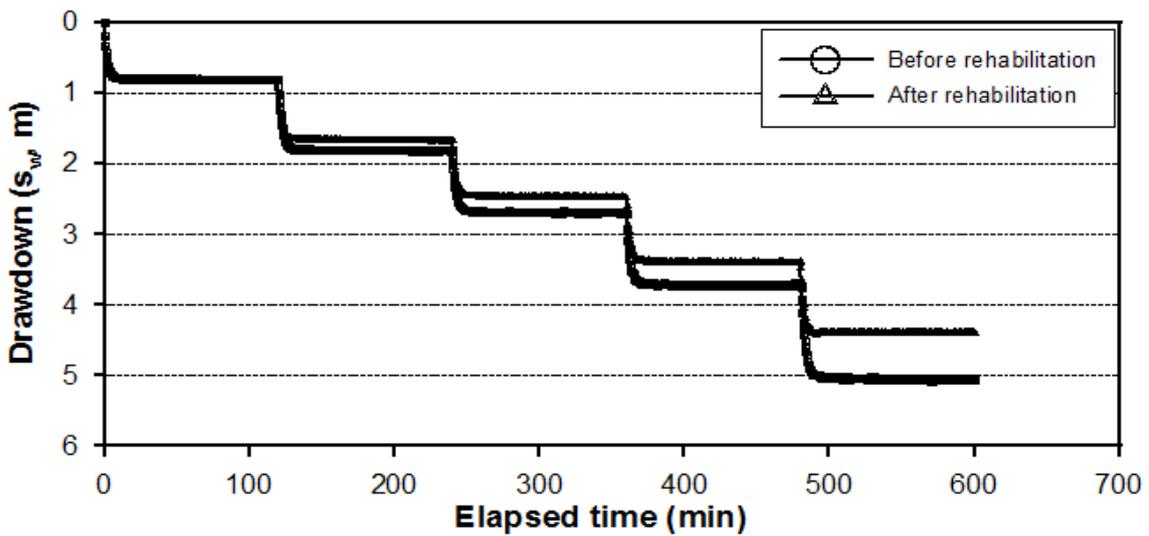


그림 7-27. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-27. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	54	0.90	0.90	60.00000	0.01667
제2단계	120	103	0.91	1.81	56.90608	0.01757
제3단계	120	148	0.90	2.71	54.61255	0.01831
제4단계	120	196	1.02	3.73	52.54692	0.01903
제5단계	120	250	1.31	5.04	49.60317	0.02016

관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	51	0.82	0.82	62.19512	0.01608
제2단계	120	101	0.85	1.67	60.47904	0.01653
제3단계	120	148	0.81	2.48	59.67742	0.01676
제4단계	120	199	0.93	3.41	58.35777	0.01714
제5단계	120	252	0.99	4.40	57.27273	0.01746

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량(s_w/Q)의 관계 그래프에서 비수위 강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층수두손실계수(B)와 우물수두손실계수(C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-28>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-28).

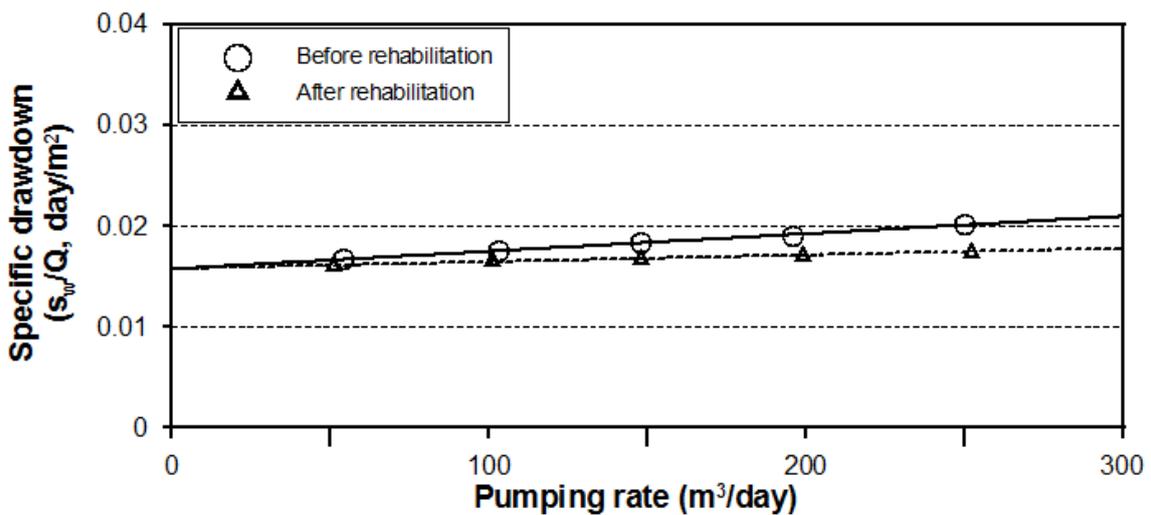


그림 7-28. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-28. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (54m ³ /day)	2단계 (103m ³ /day)	3단계 (148m ³ /day)	4단계 (196m ³ /day)	5단계 (250m ³ /day)
대수층수두손실계수(B)			0.015729		
우물수두손실계수(C)			0.000017		
우물효율(%)	94.49	89.98	86.21	82.52	78.73
관정정비 이후	1단계 (51m ³ /day)	2단계 (101m ³ /day)	3단계 (148m ³ /day)	4단계 (199m ³ /day)	5단계 (252m ³ /day)
대수층수두손실계수(B)			0.015782		
우물수두손실계수(C)			0.000007		
우물효율(%)	97.79	95.71	93.84	91.89	89.95

관정정비 전·후 대수층 수두손실계수 및 우물 수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층 수두손실계수는 거의 변화가 없으며, 우물 수두손실계수는 약 41% 수준으로 감소하였다. 관정정비 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 증가하며, 5단계 양수량에 근접한 250m³/day 을 비교하였을 경우 우물효율이 약 11.3% 개선된 것으로 나타났다(그림 7-29),(표 7-29).

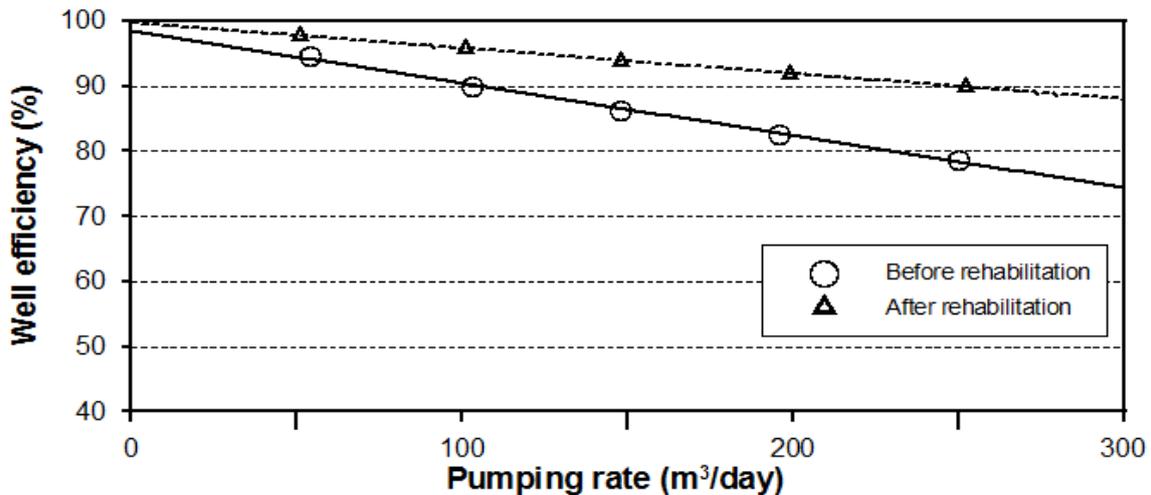


그림 7-29. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

표 7-29. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m ³ /day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
50	94.9	97.8	2.9
100	90.2	95.8	5.6
150	86.0	93.8	7.8
200	82.2	91.9	9.7
250	78.7	90.0	11.3

입암9 관정에서 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성인자를 최대한 파악하기 위해 관정정비 전·후 모두 동일하게 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량 250m³/day를 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하 양상을 살펴보면 초기에 급격한 수위강하를 일으켰으며 양수를 진행할수록 수위강하는 서서히 감소하여 관정정비 이전의 경우 수위 강하량 약 5.2m, 관정정비 이후의 경우 수위강하량 약 4.5m에서 준정류상태로 도달했다. 양수 시작 후 16시간을 기점으로 양수를 중지하고 장기양수시험을 종료하였다. 시간에 따른 지하수위 변화 양상과 장기양수시험 해석은 <그림 7-30>에 나타내었으며, 해석결과 수리지질특성 인자는 (표 7-30)에 제시하였다. 관정정비 이전과 이후의 투수량계수는 1.683cm²/sec와 1.877cm²/sec, 수리전도도는 1.829×10⁻⁴cm/sec와 2.045×10⁻⁴cm/sec, 저류계수는 0.00073와 0.00063으로 산출되어 언급된 수리지질 특성인자에서 유의할만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다.

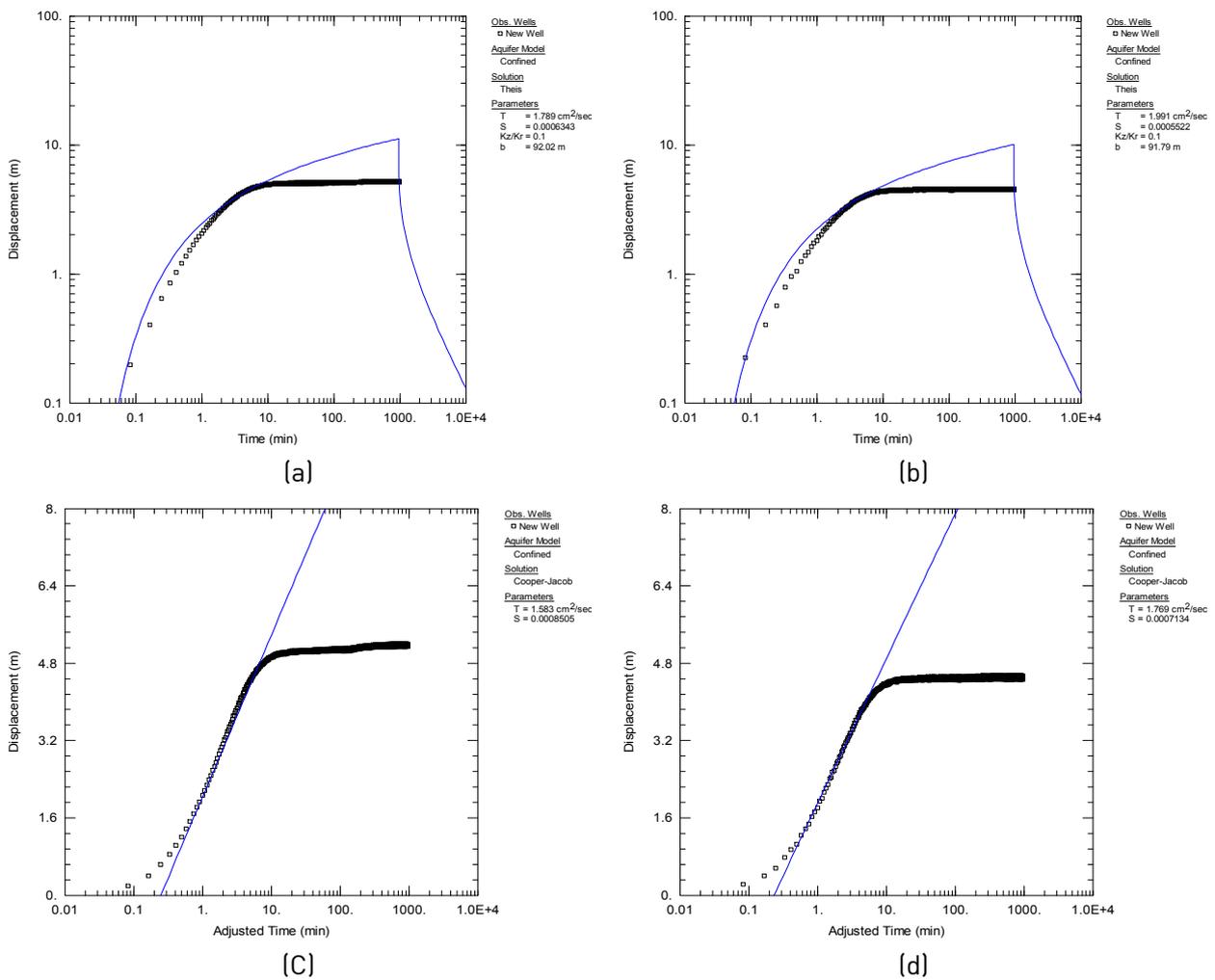


그림 7-30. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:

관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 Cooper-Jacob 해석(c), 관정정비 이후의 Theis 해석(b) 및 Cooper-Jacob 해석(d)

표 7-30. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표

관정정비 이전	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm ² /sec)	1.79	1.58	1.68
수리전도도(K, cm/sec)	1.94×10 ⁻⁴	1.72×10 ⁻⁴	1.83×10 ⁻⁴
저류계수(S)	0.00063	0.00085	0.00073
관정정비 이후	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm ² /sec)	1.99	1.77	1.88
수리전도도(K, cm/sec)	2.17×10 ⁻⁴	1.93×10 ⁻⁴	2.05×10 ⁻⁴
저류계수(S)	0.00055	0.00071	0.00063

(3) 당동 관정

당동 관정에서 관정정비 전·후로 단계양수시험 결과 수위강하량을 비교하여 분석했을 때, 관정정비 이전 5 단계에서 최대 12.22m(양수량 129m³/day) 일어난 반면 관정정비 이후 최대 10.26m(양수량 122m³/day)까지 감소하였다(그림 7-31), (표 7-31).

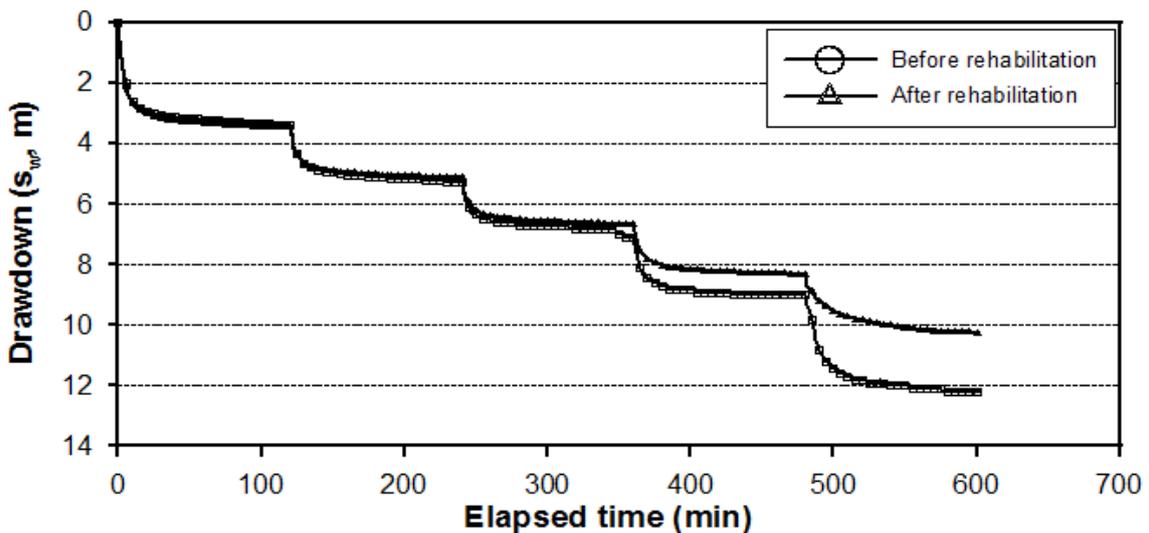


그림 7-31. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-31. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	49	3.39	3.39	14.45428	0.06918
제2단계	120	68	1.90	5.29	12.91115	0.07745
제3단계	120	89	1.83	7.12	12.47191	0.08018
제4단계	120	109	1.90	9.02	12.07317	0.08283
제5단계	120	129	3.20	12.22	10.56465	0.09466

관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	49	3.46	3.46	14.21965	0.07033
제2단계	120	70	1.67	5.13	13.56725	0.07371
제3단계	120	85	1.75	6.88	12.38372	0.08075
제4단계	120	104	1.42	8.30	12.57831	0.07950
제5단계	120	122	1.96	10.26	11.92982	0.08382

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량의 관계 그래프에서 비수위 강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층수두손실계수(B)와 우물수두손실계수 (C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-32>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-32).

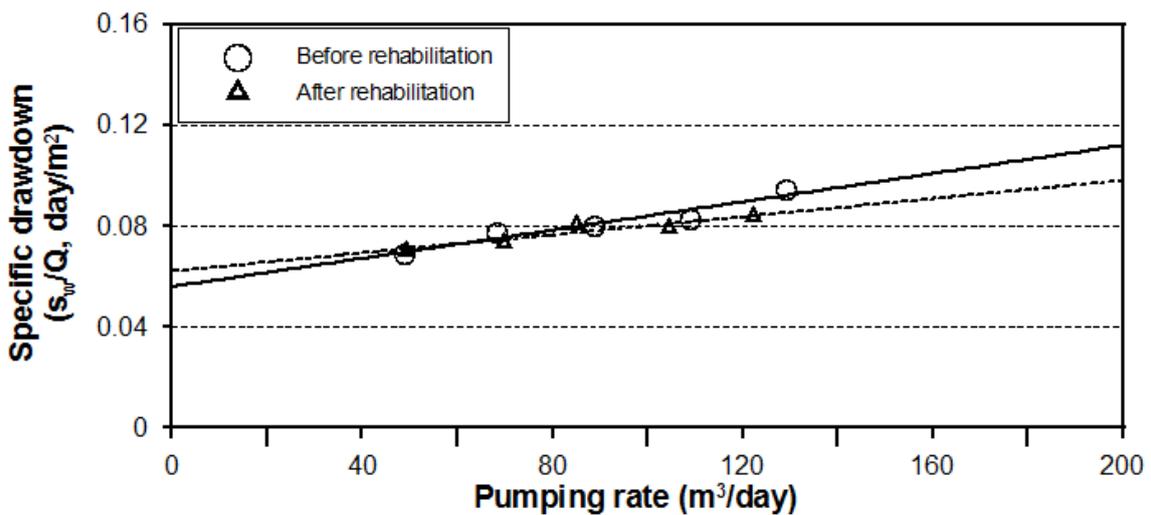


그림 7-32. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-32. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (49m ³ /일)	2단계 (68m ³ /일)	3단계 (89m ³ /일)	4단계 (109m ³ /일)	5단계 (129m ³ /일)
대수층수두손실계수(B)			0.057336		
우물수두손실계수(C)			0.0002677		
우물효율(%)	81.38	75.82	70.69	66.29	62.39
관정정비 이후	1단계 (49m ³ /일)	2단계 (70m ³ /일)	3단계 (85m ³ /일)	4단계 (104m ³ /일)	5단계 (122m ³ /일)
대수층수두손실계수(B)			0.062143		
우물수두손실계수(C)			0.0001797		
우물효율(%)	87.55	83.25	80.24	76.82	73.86

관정세정 전·후 대수층 수두손실계수 및 우물 수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층 수두손실계수는 약 108.4% 수준으로 증가하였고, 우물 수두손실계수는 약 67.1% 수준으로 감소하였다. 우물 수두손실계수가 유공관, 여과재 등의 침전물에 의한 공막힘 현상과 관련되므로 관정 공막힘 현상의 개선을 나타내는 것으로 판단된다. 관정세정 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 다소 증가하며, 5단계 양수량에 근접한 130m³/day를 비교하였을 경우 우물효율이 약 116.8% 개선된 것으로 나타났다(그림 7-33), (표 7-33).

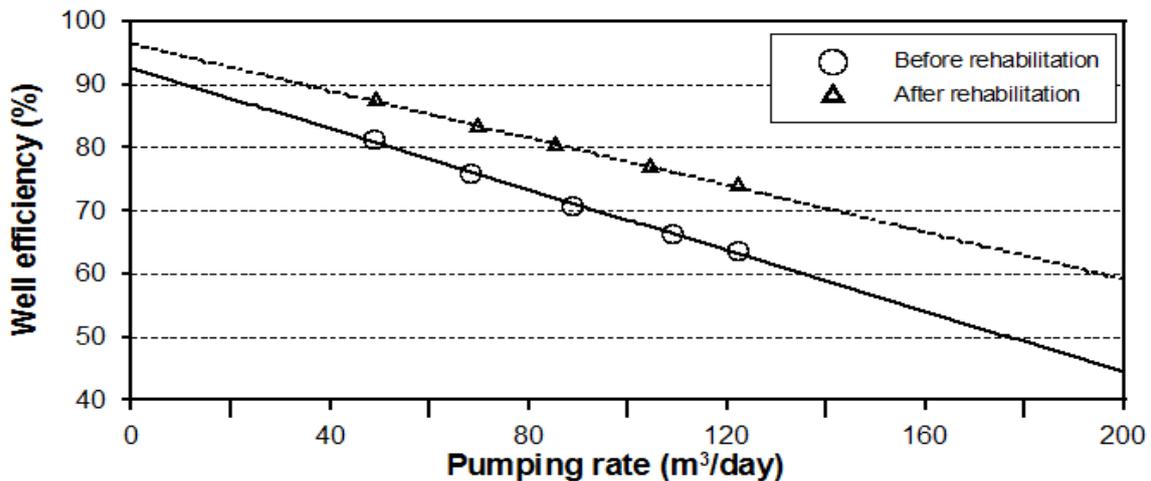


그림 7-33. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

표 7-33. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m ³ /day)	우물효율(%)		비고 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
30	87.71	92.02	104.91
60	78.12	85.22	109.09
90	70.41	79.35	112.70
120	64.09	74.24	115.84
130	62.23	72.68	116.80

당동 관정에 대한 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성 인자를 파악하기 위해 관정정비 전·후 모두 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량으로 각각 128.4m³/일, 121.6m³/일을 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하 양상은 초기에 급격하게 낮아진 이후 양수 진행에 따라 수위강하는 서서히 감소하여 관정정비 이전의 경우 수위강하량은 약 13.02m, 관정정비 이후에는 약 10.43m에서 준정류상태에 도달하였다. 양수시작 이후 16시간을 기점으로 장기양수시험을 종료하였다. 관정정비 이전과 이후의 투수량 계수는 각각 $4.70 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ 와 $5.63 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $3.49 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ 와 $4.18 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$, 저류계수는 0.002163와 0.002228로 산출되어 언급된 수리지질 특성인자에서 유의할 만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다(그림 7-34),(표 7-34).

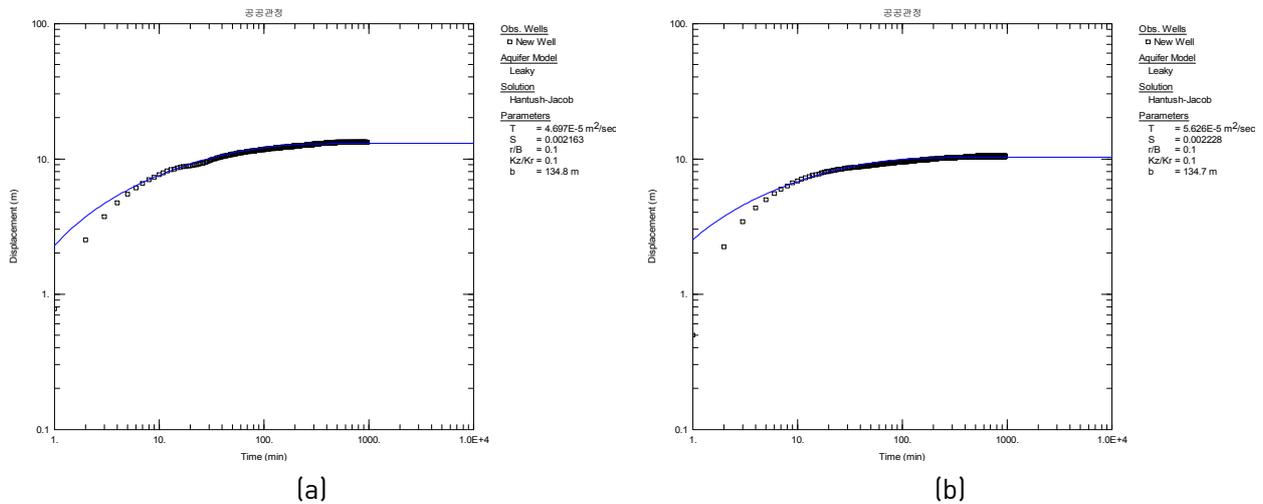


그림 7-34. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:
관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 관정정비 이후의 Theis 해석(b)

표 7-34. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표

수리지질특성 인자	관정정비 이전	관정정비 이후
투수량계수(T, m ² /sec)	4.70×10^{-5}	5.63×10^{-5}
수리전도도(K, m/sec)	3.49×10^{-7}	4.18×10^{-7}
저류계수(S)	0.002163	0.002228

다. 에어써징 수행 시설

(1) 상수6 관정

상수6 관정에서 관정정비 전·후로 단계양수시험 결과 수위강하량은, 관정정비 이전에는 5단계에서 최대 9.21m(양수량 250m³/day)까지 낮아진 반면 관정정비 이후에는 최대 8.75m(양수량 252m³/day)로 약 46cm 감소한 것으로 나타났다(그림 7-35),(표 7-35).

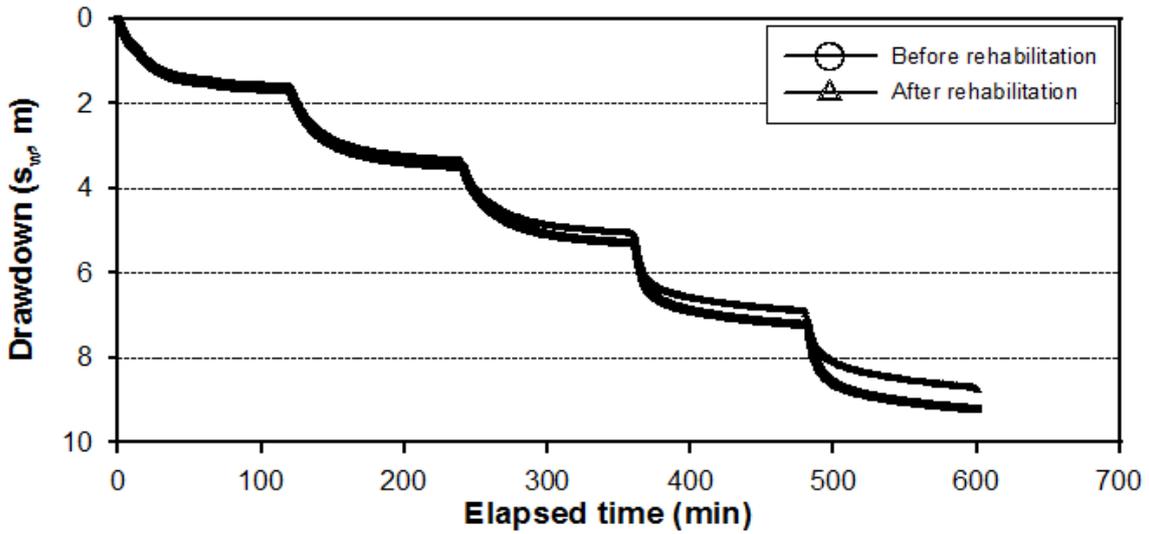


그림 7-35. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-35. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ³ /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ³)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	50	1.68	1.68	29.83294	0.03352
제2단계	120	101	1.81	3.49	28.95642	0.03453
제3단계	120	150	1.81	5.29	28.33396	0.03529
제4단계	120	200	1.92	7.22	27.70851	0.03609
제5단계	120	250	1.99	9.21	27.13851	0.03685
관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ³ /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ³)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	48	1.60	1.60	30.00000	0.03333
제2단계	120	100	1.75	3.35	29.85075	0.03350
제3단계	120	150	1.71	5.06	29.64427	0.03373
제4단계	120	201	1.84	6.90	29.13043	0.03433
제5단계	120	252	1.85	8.75	28.80000	0.03472

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량의 관계 그래프에서 비수위 강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층수두손실계수(B)와 우물수두손실계수 (C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. (그림 7-36)에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-36).

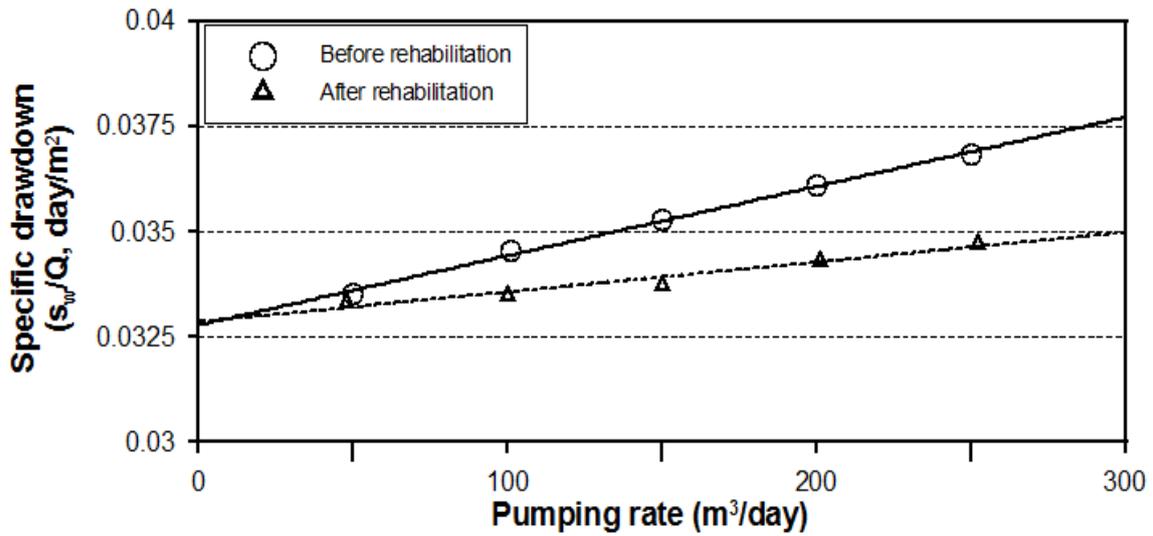


그림 7-36. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-36. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (50m³/day)	2단계 (101m³/day)	3단계 (150m³/day)	4단계 (200m³/day)	5단계 (250m³/day)
대수층수두손실계수(B)			0.032785		
우물수두손실계수(C)			0.000016		
우물효율(%)	97.62	95.30	93.18	91.11	89.13
관정정비 이후	1단계 (48m³/day)	2단계 (100m³/day)	3단계 (150m³/day)	4단계 (201m³/day)	5단계 (252m³/day)
대수층수두손실계수(B)			0.032860		
우물수두손실계수(C)			0.000007		
우물효율(%)	98.99	97.91	96.90	95.89	94.91

관정정비 전·후 대수층수두손실계수 및 우물수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층수두손실계수는 거의 변화가 없으며, 우물수두손실계수는 약 44% 수준으로 감소하였다. 관정정비 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 증가하며, 5단계 양수량에 근접한 250m³/day을 비교하였을 경우 우물효율일 약 5.8% 개선된 것으로 나타났다(그림 7-37), (표 7-37).

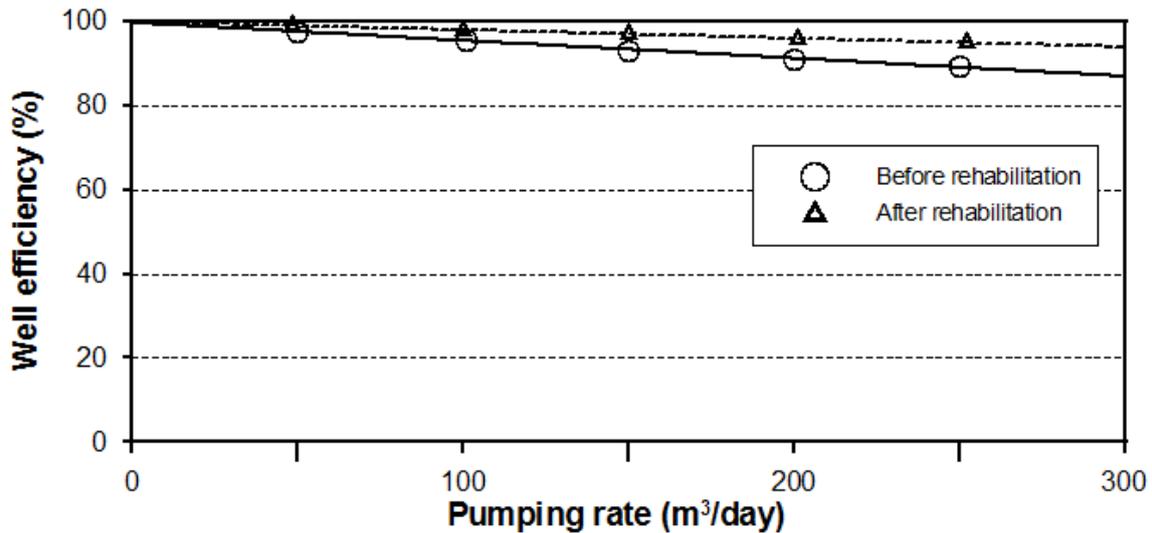
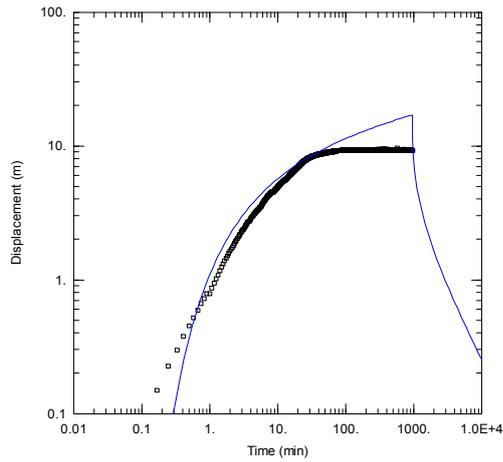


그림 7-37. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

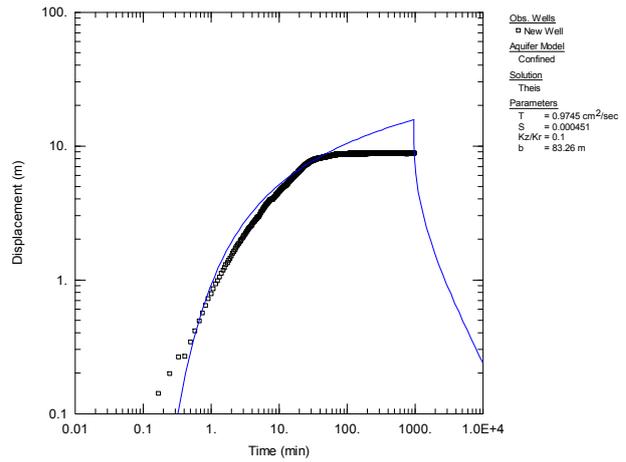
표 7-37. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m³/day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
50	97.6	98.9	1.3
100	95.3	97.9	2.6
150	93.2	96.9	3.7
200	91.1	95.9	4.8
250	89.1	94.9	5.8

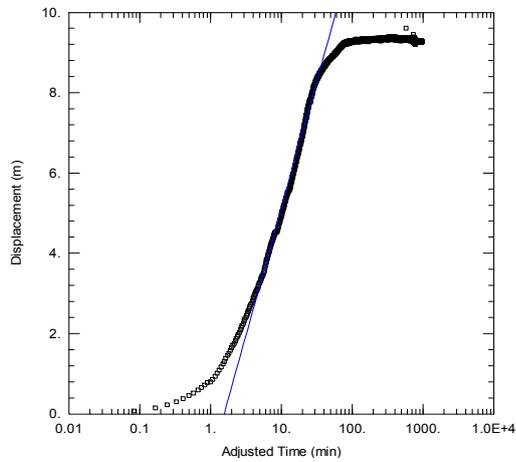
상수6 관정에서 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성인자를 최대한 파악하기 위해 관정정비 전·후 모두 동일하게 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량 250m³/day를 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하 양상을 살펴보면 초기에 급격한 수위강하를 일으켰으며 양수를 진행할수록 수위강하는 서서히 감소하여 관정정비 이전의 경우 수위강하량 약 9.3m, 관정정비 이후의 경우 수위강하량 약 8.8m에서 준정류상태로 도달했다. 양수 시작 후 16시간을 기점으로 양수를 중지하고 장기양수시험을 종료하였다. 시간에 따른 지하수위 변화 양상과 장기양수시험 해석은 <그림 7-38>에 나타내었으며, 해석결과 수리지질특성 인자는 (표 7-38)에 제시하였다. 관정정비 이전의 경우 투수량계수는 $8.752 \times 10^{-1} \text{cm}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $1.050 \times 10^{-4} \text{cm}/\text{sec}$, 저류계수는 0.00052으로 산출되었고, 관정정비 이후의 경우 투수량계수는 $9.264 \times 10^{-1} \text{cm}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $1.113 \times 10^{-4} \text{cm}/\text{sec}$, 저류계수는 0.00051으로 산출되어 언급된 수리지질 특성인자에서 유의할만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다.



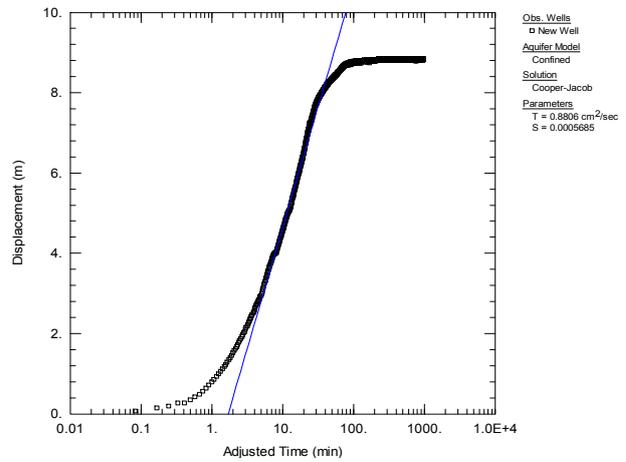
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7-38. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:

관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 Cooper-Jacob 해석(c), 관정정비 이후의 Theis 해석(b) 및 Cooper-Jacob 해석(d)

표 7-38. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표

관정정비 이전	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm ² /sec)	9.14×10^{-1}	8.38×10^{-1}	8.75×10^{-1}
수리전도도(K, cm/sec)	1.10×10^{-4}	1.00×10^{-4}	1.05×10^{-4}
저유계수(S)	0.00046	0.00059	0.00052
관정정비 이후	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm ² /sec)	9.75×10^{-1}	8.81×10^{-1}	9.26×10^{-1}
수리전도도(K, cm/sec)	1.17×10^{-4}	1.06×10^{-4}	1.11×10^{-4}
저유계수(S)	0.00045	0.00057	0.00051

(2) 제요1 관정

제요1 관정에서 관정정비 전·후로 단계양수시험 결과 수위강하량을 비교하여 분석했을 때, 관정정비 이전 5단계에서 최대 4.29m(양수량 201m³/day) 일어난 반면 관정정비 이후 최대 3.68m(양수량 200m³/day) 발생하였다(그림 7-39),(표 7-39).

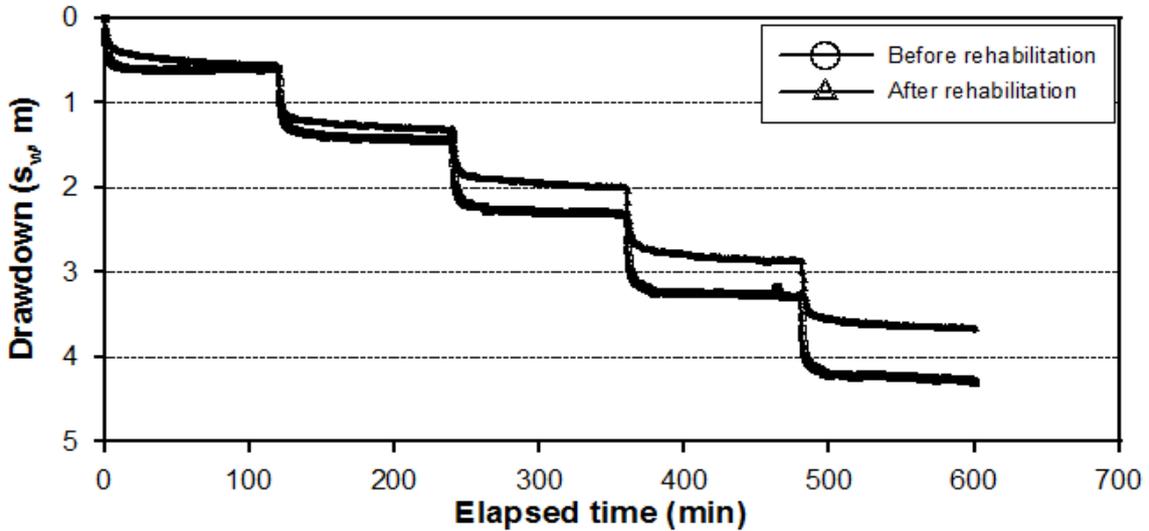


그림 7-39. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-39. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ³ /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ³)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	38	0.60	0.60	63.33333	0.01579
제2단계	120	81	0.82	1.42	57.04225	0.01753
제3단계	120	122	0.89	2.31	52.81385	0.01893
제4단계	120	162	0.97	3.28	49.39024	0.02025
제5단계	120	201	1.01	4.29	46.85315	0.02134
관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ³ /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ³)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	38	0.57	0.57	66.66667	0.01500
제2단계	120	83	0.75	1.32	62.87879	0.01590
제3단계	120	121	0.69	2.01	60.19900	0.01661
제4단계	120	164	0.86	2.87	57.14286	0.01750
제5단계	120	200	0.81	3.68	54.34783	0.01840

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량의 관계 그래프에서 비수위 강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층수두손실계수(B)와 우물수두손실계수 (C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-40>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-40).

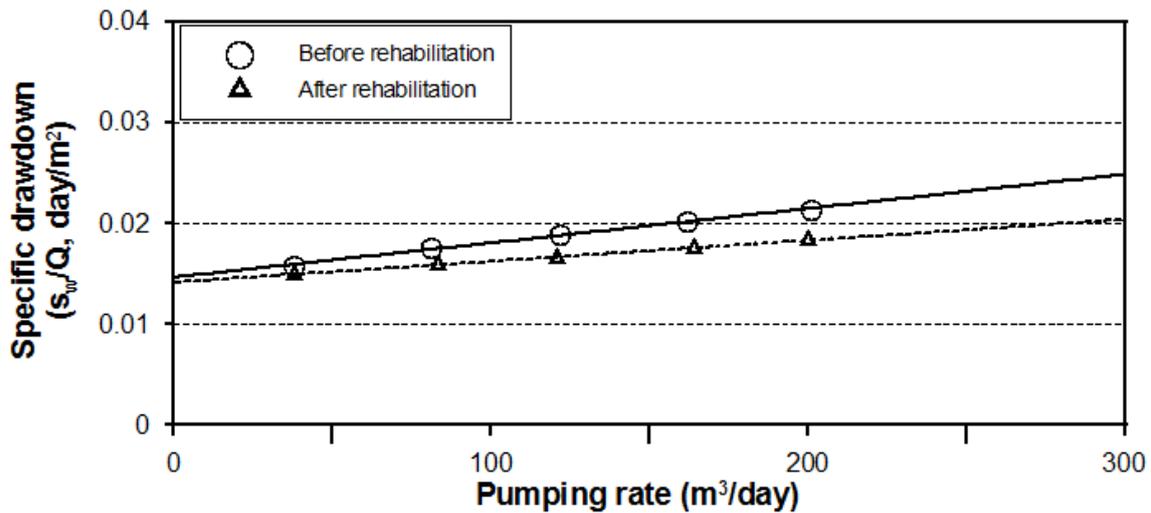


그림 7-40. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-40. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (38 m³/day)	2단계 (81 m³/day)	3단계 (122 m³/day)	4단계 (162 m³/day)	5단계 (201 m³/day)
대수층수두손실계수(B)			0.014661		
우물수두손실계수(C)			0.000034		
우물효율(%)	91.90	84.19	77.95	72.69	68.21
관정정비 이후	1단계 (38 m³/day)	2단계 (83 m³/day)	3단계 (121 m³/day)	4단계 (164 m³/day)	5단계 (200 m³/day)
대수층수두손실계수(B)			0.014173		
우물수두손실계수(C)			0.000021		
우물효율(%)	94.67	89.05	84.80	80.45	77.14

관정정비 전·후 대수층수두손실계수 및 우물수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층수두손실계수는 약 97%, 우물수두손실계수는 약 62% 수준으로 감소하였다. 관정정비 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 증가하며, 5단계 양수량에 근접한 200m³/day을 비교하였을 경우 우물효율이 약 8.8% 개선된 것으로 나타났다(그림 7-41), (그림 7-41).

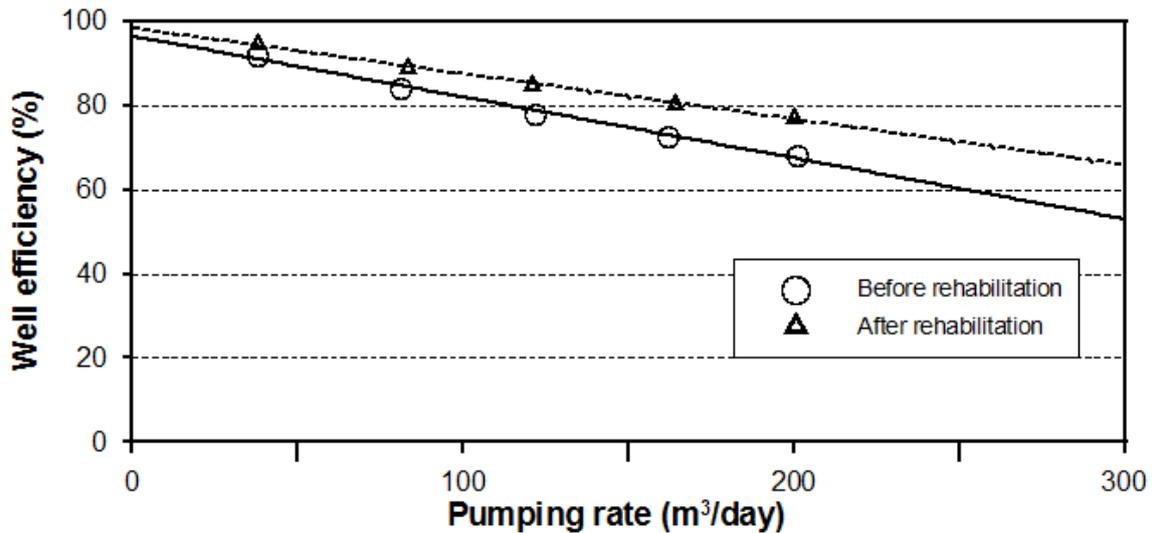
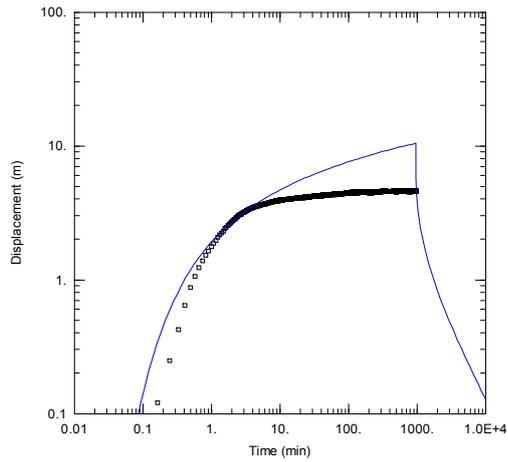


그림 7-41. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

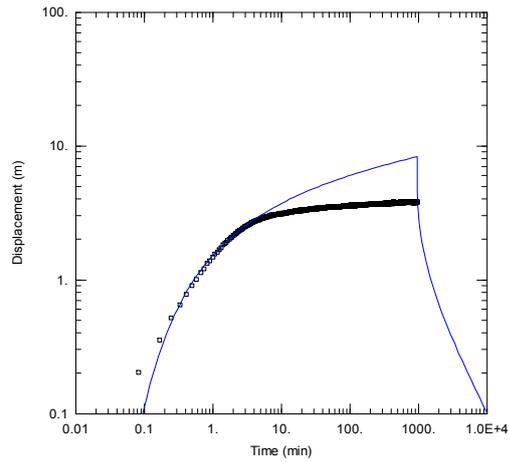
표 7-41. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m³/day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
40	91.5	94.4	2.9
80	84.4	89.4	5.0
120	78.2	84.9	6.7
160	72.9	80.8	7.9
200	68.3	77.1	8.8

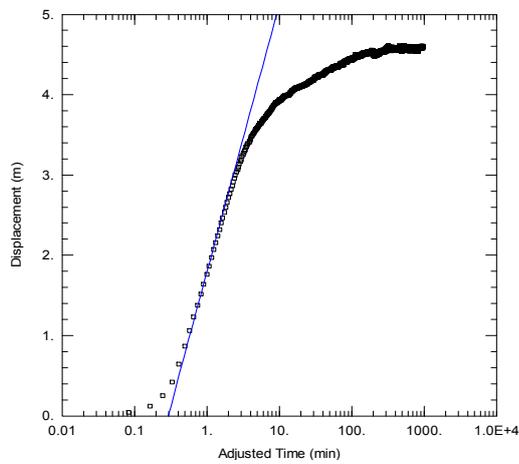
제요1 관정에서 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성인자를 최대한 파악하기 위해 세척 전·후 모두 동일하게 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량 200m³/day를 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하 양상을 살펴보면 초기에 급격한 수위강하를 일으켰으며 양수를 진행할수록 수위강하는 서서히 감소하여 관정정비전의 경우 수위강하량 약 4.6m, 관정정비후의 경우 수위강하량 약 3.8m에서 준정류상태로 도달했다. 양수 시작 후 16시간을 기점으로 양수를 중지하고 장기양수시험을 종료하였다. 시간에 따른 지하수위 변화 양상과 장기양수시험 해석은 <그림 7-42>에 나타내었으며, 해석결과 수리지질특성 인자는 (표 7-42)에 정리하였다. 관정정비 이전의 경우 투수량계수는 1.355cm²/sec, 수리전도도는 1.410×10⁻⁴ cm/sec, 저류계수는 0.00053으로 산출되었고, 관정정비 이후의 경우 투수량계수는 1.743cm²/sec, 수리전도도는 1.816×10⁻⁴ cm/sec, 저류계수는 0.00050으로 산출되어 언급된 수리지질 특성인자에서 유의할만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다.



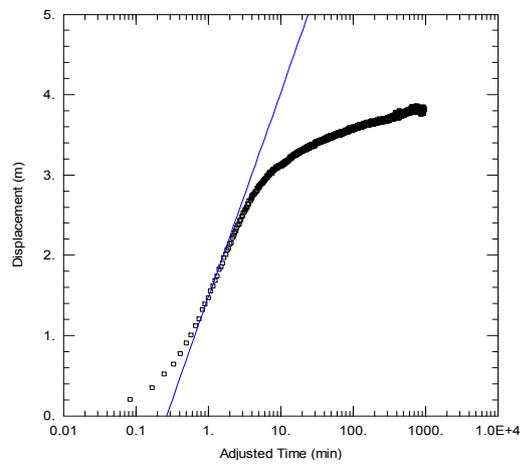
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7-42. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:

관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 Cooper-Jacob 해석(c), 관정정비 이후의 Theis 해석(b) 및 Cooper-Jacob 해석(d)

표 7-42. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표

관정정비 이전	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm ² /sec)	1.45	1.27	1.36
수리전도도(K, cm/sec)	1.51×10 ⁻⁴	1.32×10 ⁻⁴	1.41×10 ⁻⁴
저유계수(S)	0.00053	0.00053	0.00053
관정정비 이후	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm ² /sec)	1.83	1.66	1.74
수리전도도(K, cm/sec)	1.91×10 ⁻⁴	1.73×10 ⁻⁴	1.82×10 ⁻⁴
저유계수(S)	0.00052	0.00049	0.00050

(3) 해창1 관정

해창1 관정에서 관정정비 전·후로 단계양수시험 결과 수위강하량을 비교하여 분석했을 때, 관정정비 이전 5단계에서 최대 10.38m(양수량 99m³/day) 하강한 반면 관정정비 이후에는 최대 10.22m(양수량 99m³/day)로 약 16cm 감소한 것으로 나타났다(그림 7-43), (표 7-43).

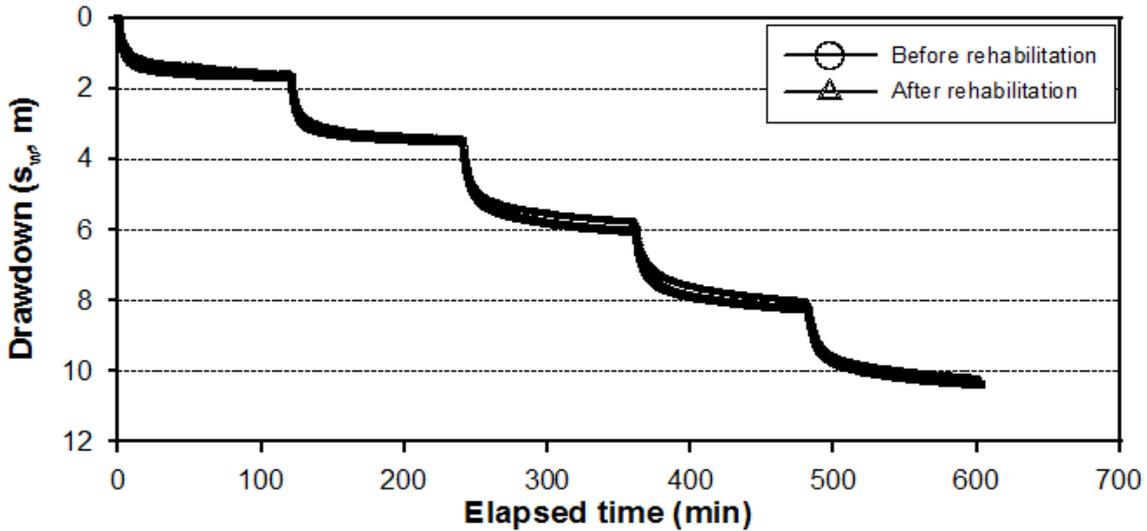


그림 7-43. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-43. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과표

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ³ /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ³)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	121	19	1.66	1.66	11.44578	0.08737
제2단계	120	38	1.84	3.50	10.85714	0.09211
제3단계	121	62	2.51	6.01	10.31614	0.09694
제4단계	120	82	2.25	8.26	9.92736	0.10073
제5단계	121	99	2.12	10.38	9.53757	0.10485
관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ³ /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ³)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	18	1.59	1.59	11.32788	0.08828
제2단계	120	38	1.86	3.45	11.02728	0.09068
제3단계	121	60	2.34	5.78	10.44802	0.09571
제4단계	120	82	2.26	8.04	10.14060	0.09861
제5단계	120	99	2.18	10.22	9.68594	0.10324

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량의 관계 그래프에서 비수위 강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층수두손실계수(B)와 우물수두손실계수 (C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-44>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-44).

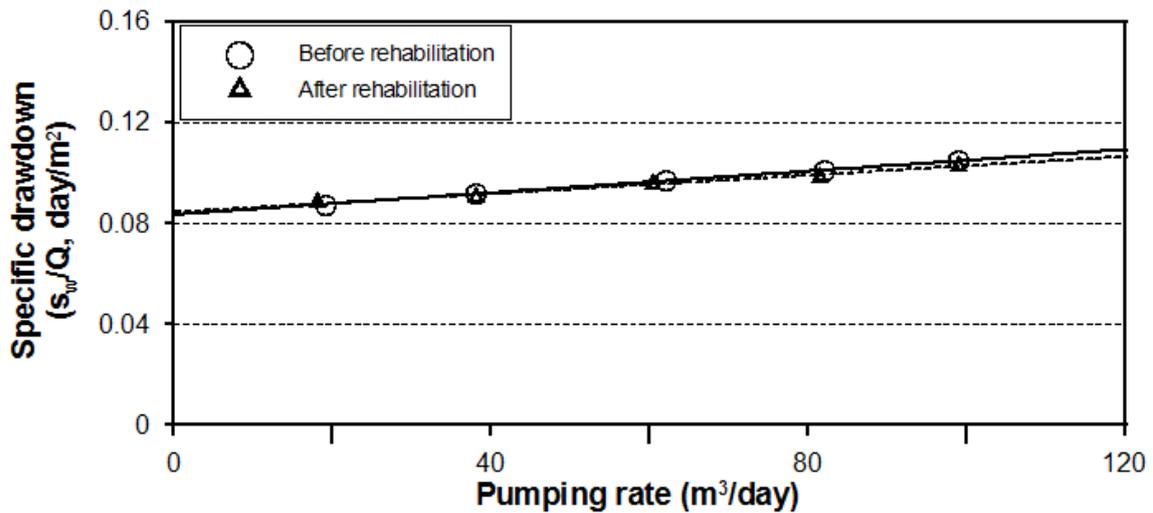


그림 7-44. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-44. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (19m³/day)	2단계 (38m³/day)	3단계 (62m³/day)	4단계 (82m³/day)	5단계 (99m³/day)
대수층수두손실계수(B)			0.083595		
우물수두손실계수(C)			0.000213		
우물효율(%)	95.38	91.17	86.36	82.72	79.86
관정정비 이후	1단계 (18m³/day)	2단계 (38m³/day)	3단계 (60m³/day)	4단계 (82m³/day)	5단계 (99m³/day)
대수층수두손실계수(B)			0.084388		
우물수두손실계수(C)			0.000184		
우물효율(%)	96.22	92.35	88.36	84.91	82.25

관정정비 전·후 대수층수두손실계수 및 우물수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층수두손실계수는 약 101% 수준으로 증가하였고, 우물수두손실계수는 약 86% 수준으로 감소하였다. 관정정비 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 증가하며, 5단계 양수량에 근접한 100 m³/day을 비교하였을 경우 우물효율이 약 2.4% 개선된 것으로 나타났다(그림 7-45),(표 7-45).

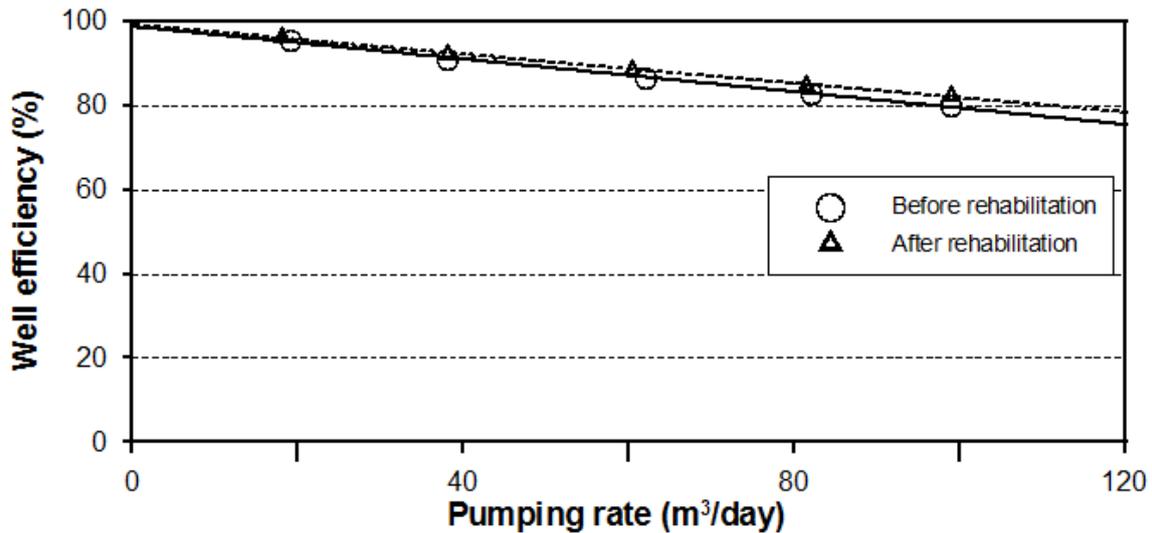


그림 7-45. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

표 7-45. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m³/day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
20	95.2	95.8	0.6
40	90.8	92.0	1.2
60	86.7	88.4	1.7
80	83.1	85.1	2.0
100	79.7	82.1	2.4

해창1 관정에서 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성 인자를 최대한 파악하기 위해 세척 전·후 모두 동일하게 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량 100m³/day를 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하 양상을 살펴보면 초기에 급격한 수위강하를 일으켰으며 양수를 진행할수록 수위강하는 서서히 감소하여 관정정비 이전의 경우 수위강하량 약 11.1m, 관정정비 이후의 경우 수위강하량 약 11.9m에서 준정류상태로 도달했다. 양수 시작 후 16시간을 기점으로 양수를 중지하고 장기양수시험을 종료하였다. 시간에 따른 지하수위 변화 양상과 장기양수시험 해석은 <그림 7-46>에 나타내었으며, 해석결과 수리지질특성 인자는 (표 7-46)에 정리하였다. 관정정비 이전의 경우 투수량계수는 $4.391 \times 10^{-1} \text{cm}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $4.557 \times 10^{-5} \text{cm}/\text{sec}$, 저류계수는 0.00059으로 산출되었고, 관정정비 이후의 경우 투수량계수는 $4.568 \times 10^{-1} \text{cm}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $4.732 \times 10^{-5} \text{cm}/\text{sec}$, 저류계수는 0.00051으로 산출되어 언급된 수리지질 특성인자에서 유의할만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다.

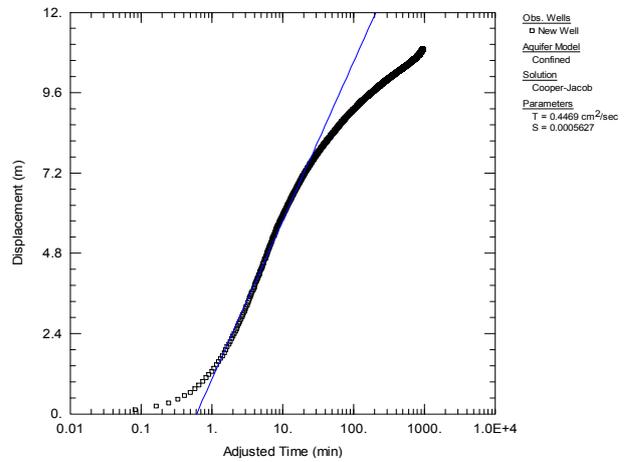
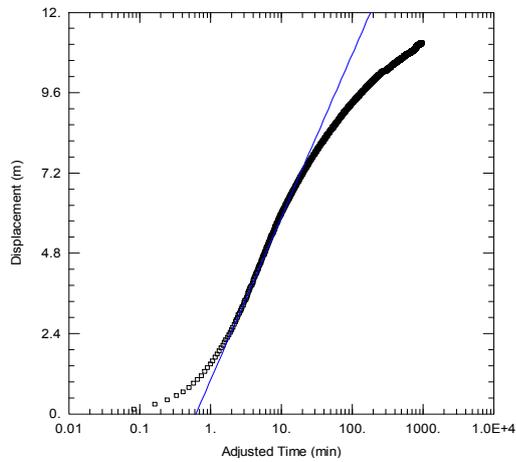
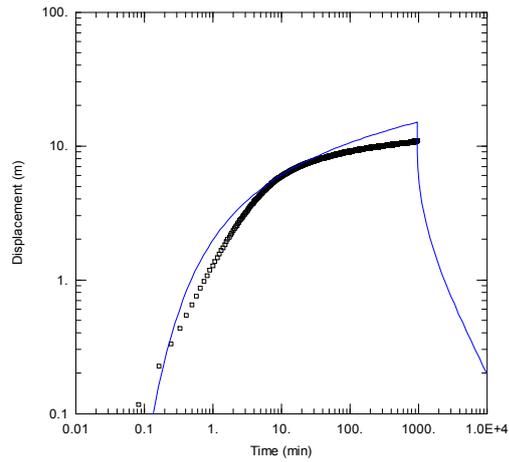
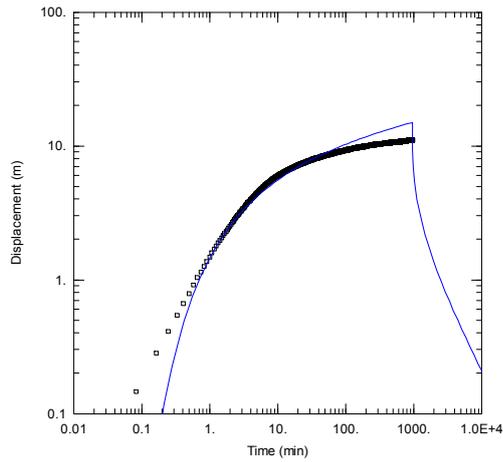


그림 7-46. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:

관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 Cooper-Jacob 해석(c), 관정정비 이후의 Theis 해석(b) 및 Cooper-Jacob 해석(d)

표 7-46. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표

관정정비 이전	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm²/sec)	4.43×10^{-1}	4.36×10^{-1}	4.39×10^{-1}
수리전도도(K, cm/sec)	4.60×10^{-5}	4.52×10^{-5}	4.56×10^{-5}
저유계수(S)	0.00063	0.00054	0.00059
관정정비 이후	장기양수시험		기하평균
	Theis	Cooper-Jacob	
투수량계수(T, cm²/sec)	4.67×10^{-1}	4.47×10^{-1}	4.57×10^{-1}
수리전도도(K, cm/sec)	4.84×10^{-5}	4.63×10^{-5}	4.73×10^{-5}
저유계수(S)	0.00046	0.00056	0.00051

라. 브러싱 수행 시설

(1) 등원2 관정

등원2 관정은 수중펌프의 교체로 인하여 관정세정 전·후의 양수량이 크게 변동하였다. 관정정비 이전 5단계에서 양수량 74.4m³/day에서 최대 수위강하량은 9.21m로 나타났으나, 관정정비 이후 5단계에서 양수량 90.0m³/day 대비 최대 수위강하량은 9.21m로 확인되었다(그림 7-47),(표 7-47).

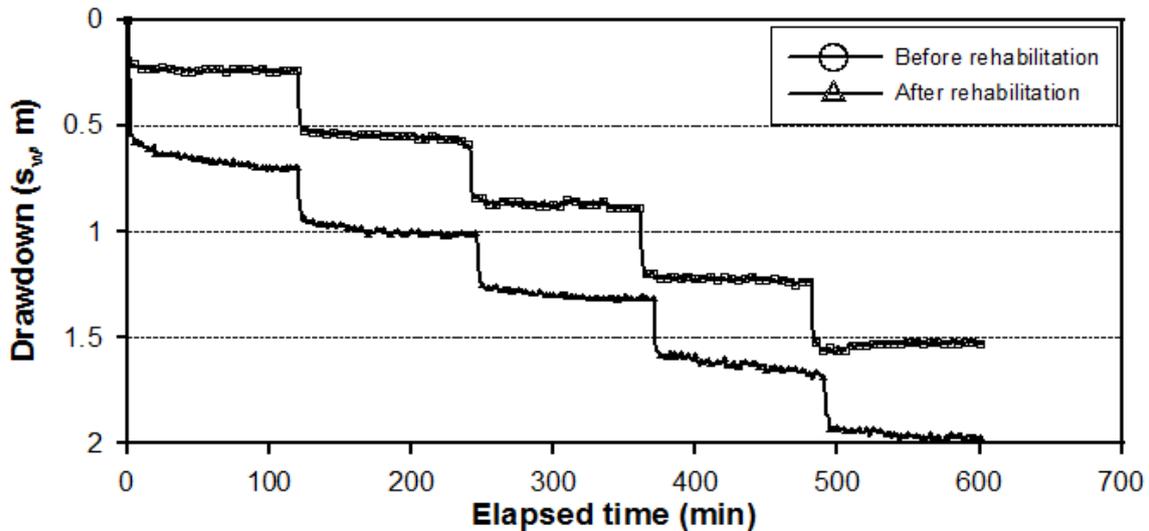


그림 7-47. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-47. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ³ /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ³)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	19	0.24	0.24	78.09917	0.01280
제2단계	120	37	0.34	0.58	63.80789	0.01567
제3단계	120	50	0.30	0.89	56.36979	0.01774
제4단계	120	61	0.35	1.23	49.47283	0.02021
제5단계	120	74	0.29	1.52	48.85095	0.02047
관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ³ /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ³)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	46	0.70	0.70	65.14286	0.01535
제2단계	120	61	0.31	1.01	60.65411	0.01649
제3단계	120	74	0.31	1.32	56.53495	0.01769
제4단계	120	84	0.35	1.67	50.69069	0.01973
제5단계	120	90	0.31	1.97	45.68528	0.02189

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량의 관계 그래프에서 비수위 강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층수두손실계수(B)와 우물수두손실계수(C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-48>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-48).

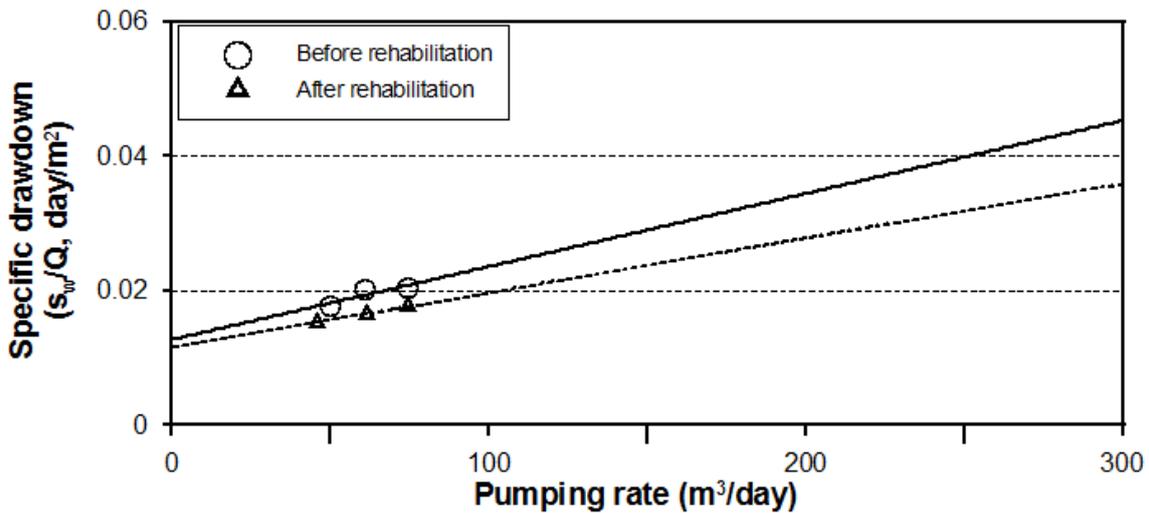


그림 7-48. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-48. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (19 m³/일)	2단계 (37 m³/일)	3단계 (50 m³/일)	4단계 (61 m³/일)	5단계 (74 m³/일)
대수층수두손실계수(B)			0.009797		
우물수두손실계수(C)			0.00015857		
우물효율(%)	76.58	62.42	55.27	50.32	45.37
관정정비 이후	1단계 (46 m³/일)	2단계 (61 m³/일)	3단계 (74 m³/일)	4단계 (84 m³/일)	5단계 (90 m³/일)
대수층수두손실계수(B)			0.011622		
우물수두손실계수(C)			0.00008091		
우물효율(%)	75.90	70.12	65.88	62.99	61.48

관정세정 전·후 대수층 수두손실계수 및 우물 수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층 수두손실계수는 약 118.6% 수준으로 증가한 반면 우물 수두손실계수는 약 51.0% 수준으로 감소하였다. 이는 브러쉬 솔질에 의해 유공관, 여과재 사이의 침전물이 제거되어 우물수두손실계수가 감소한 것으로 판단된다. 관정세정 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 증가하며, 5단계 양수량에 근접한 90m³/일을 비교하였을 경우 우물효율일 약 151.04% 개선된 것으로 나타났다(그림 7-49), (표 7-49).

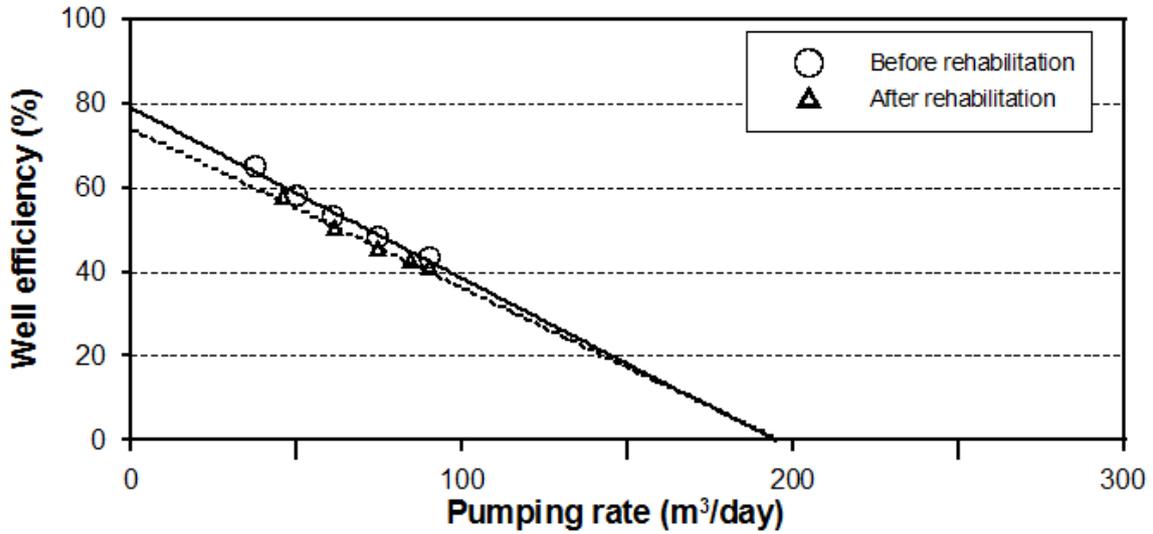
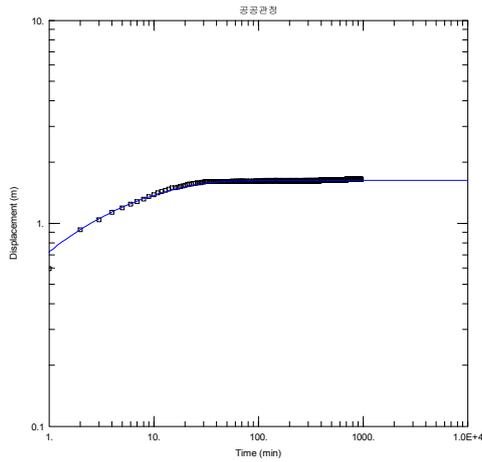


그림 7-49. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

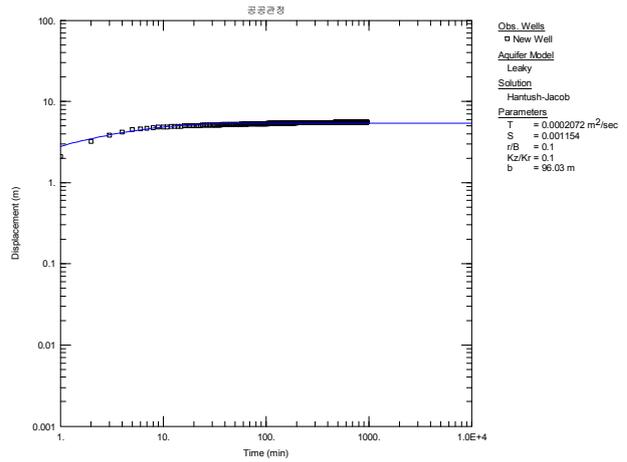
표 7-49. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m³/day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
20	75.55	87.78	116.19
40	60.70	78.22	128.86
60	50.73	70.54	139.04
80	43.58	64.23	147.39
90	40.71	61.48	151.04

등원2 관정은 수증펌프의 교체로 인해 양수능력의 차이가 크게 발생함에 따라 관정정비 전·후의 양수량을 각각 75.5m³/일과 208.3m³/일을 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하 양상을 살펴보면 초기에 급격한 수위강하를 일으켰으며 양수를 진행할수록 수위강하는 서서히 감소하여 준정류상태로 도달했다. 양수 시작 후 16시간을 기점으로 양수를 중지하고 장기양수시험을 종료하였다. 관정정비 이전의 경우 투수량계수는 $2.49 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $2.60 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$, 저류계수는 0.002163으로 산출되었고, 관정정비 이후의 투수량계수는 $2.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$, 수리전도도는 $2.16 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$, 저류계수는 0.002228로 산출되어 언급된 수리지질 특성인자에서 유의할 만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다(그림 7-50), (표 7-50).



(a)



(b)

그림 7-50. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:
관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 관정정비 이후의 Theis 해석(b)

표 7-50. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표

수리지질특성 인자	관정정비 이전	관정정비 이후
투수량계수(T, m ² /sec)	2.49×10^{-4}	2.07×10^{-4}
수리전도도(K, m/sec)	2.60×10^{-6}	2.16×10^{-6}
저류계수(S)	0.003274	0.001154

마. 워터제팅 수행 시설

(1) 선유1 관정

선유1 관정에서 관정세정 전·후로 단계양수시험 결과 양수량을 비교하여 분석했을 때, 관정정비 이전 5단계에서 최대 68m³/일 양수한 반면 관정정비 이후 최대 84m³/일로 증가하였다(그림 7-51), (표 7-51).

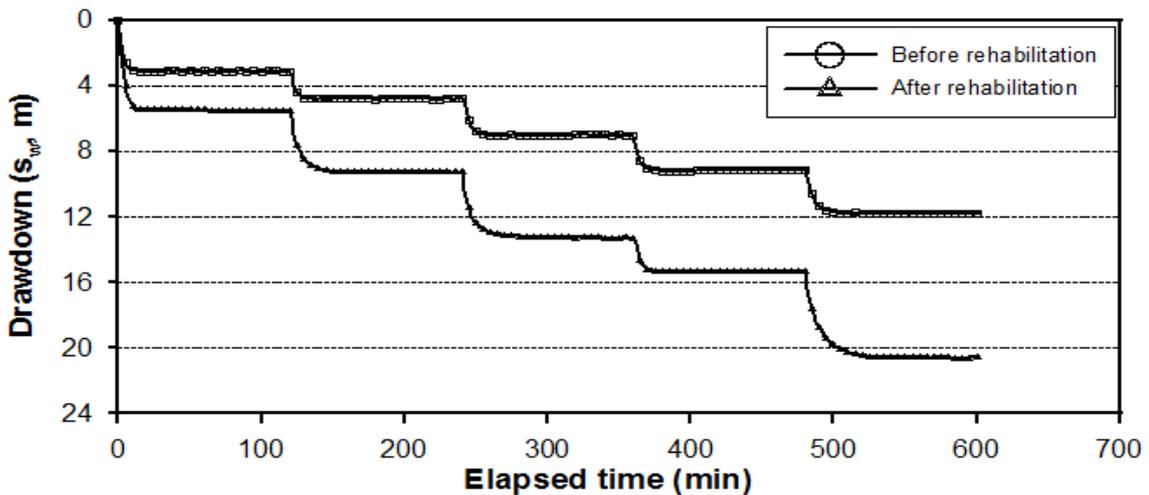


그림 7-51. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 시간-수위강하량

표 7-51. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 단계양수시험 결과

관정정비 이전	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	27	3.11	3.11	8.58797	0.11644
제2단계	120	36	1.69	4.80	7.49688	0.13339
제3단계	120	48	2.20	7.01	6.85127	0.14596
제4단계	120	59	2.16	9.16	6.41711	0.15583
제5단계	120	68	2.66	11.83	5.74956	0.17393

관정정비 이후	양수시간 (min)	양수량 (m ³ /day)	수위강하량		비양수량 Q/s _w (m ² /day)	비수위강하량 s _w /Q (day/m ²)
			Δs	s _w (m)		
제1단계	120	43	5.55	5.55	7.77818	0.12856
제2단계	120	59	3.72	9.28	6.33757	0.15779
제3단계	120	71	4.01	13.29	5.32691	0.18773
제4단계	120	77	2.04	15.33	5.00946	0.19962
제5단계	120	84	5.28	20.61	4.07628	0.24532

일반적으로 양수량에 따른 비수위강하량의 관계 그래프에서 비수위 강하량의 절편과 기울기를 이용하고 대수층수두손실계수(B)와 우물수두손실계수(C)를 도출하여 우물효율 공식에서 우물효율을 유도할 수 있다. <그림 7-52>에서 나타난 바와 같이 양수량에 대한 비수위강하량의 변화가 관정정비 전·후 발생하는 것으로 나타났으며, 우물 자체의 수두손실을 나타내는 우물수두손실 계수 및 대수층 자체의 수두손실을 나타내는 대수층수두손실계수를 이용하여 계산된 우물효율을 정리하였다(표 7-52).

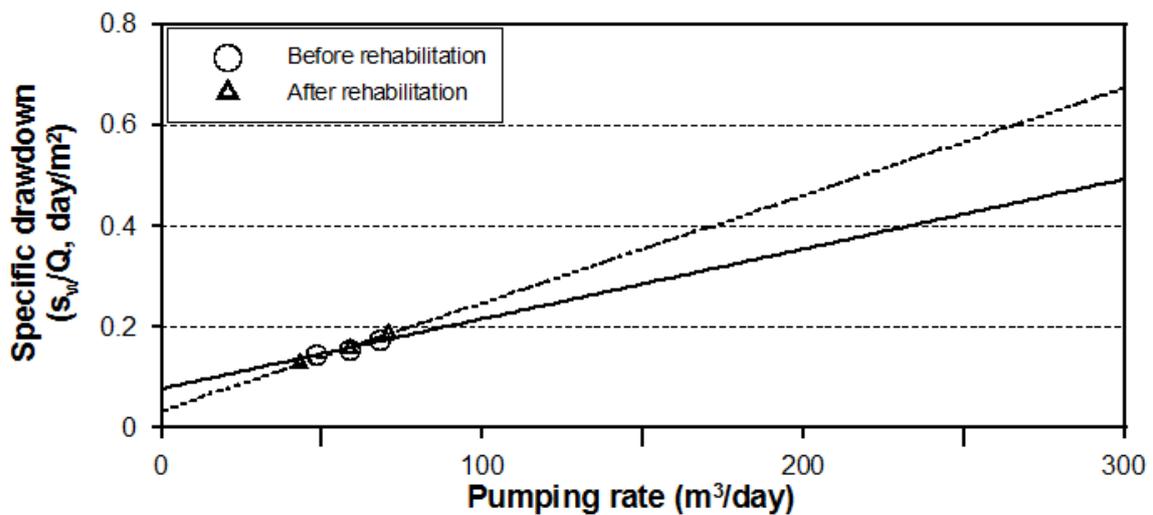


그림 7-52. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 비수위강하량

표 7-52. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 각 단계별 B, C 및 우물효율

관정정비 이전	1단계 (27 m ³ /일)	2단계 (36 m ³ /일)	3단계 (48 m ³ /일)	4단계 (59 m ³ /일)	5단계 (68 m ³ /일)
대수층수두손실계수(B)			0.077903		
우물수두손실계수(C)			0.0013845		
우물효율(%)	67.82	60.98	53.96	48.90	45.28
관정정비 이후	1단계 (43 m ³ /일)	2단계 (59 m ³ /일)	3단계 (71 m ³ /일)	4단계 (77 m ³ /일)	5단계 (84 m ³ /일)
대수층수두손실계수(B)			0.035320		
우물수두손실계수(C)			0.0021303		
우물효율(%)	27.73	22.00	18.97	17.76	16.48

관정세정 전·후 대수층수두손실계수 및 우물수두손실계수를 비교·검토한 결과 대수층수두손실계수는 약 45.3% 수준으로 감소한 반면, 우물수두손실계수는 약 153.9% 수준으로 증가하였다. 관정세정 전·후 우물효율을 비교·검토한 결과 양수량이 증가함에 따라 전·후의 우물효율 차이는 오히려 감소하며, 5단계 양수량에 근접한 90m³/일을 비교 하였을 경우 우물효율이 약 40.44%로 나타났다(그림 7-53),(표 7-53).

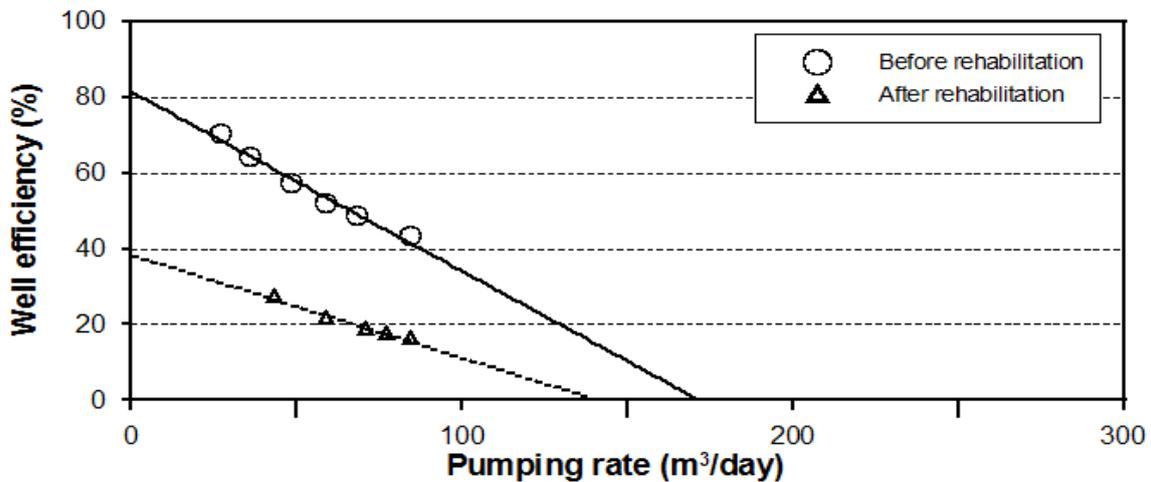


그림 7-53. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 대한 우물효율

표 7-53. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 양수량에 따른 우물효율의 변화 비교

양수량 (m ³ /day)	우물효율(%)		비교 (개선정도, %)
	관정정비 이전	관정정비 이후	
20	73.78	45.33	61.44
40	58.45	29.30	50.13
60	48.40	21.65	44.74
80	41.29	17.17	41.57
90	38.47	15.56	40.44

선유1 관정에서 장기양수시험 수행 시 관정주변의 수리지질특성 인자를 파악하기 위해 관정정비 전·후 모두 단계양수시험의 마지막 단계인 5단계에 근접한 양수량으로 각각 67.6m³/일과 77.7m³/일을 적용하여 시행하였다. 양수시간에 따른 수위강하 양상을 살펴보면 초기에 급격한 수위강하를 일으켰으며 양수를 진행할수록 수위강하는 서서히 감소하여 관정정비 이전의 경우 수위강하량 약 12.04m, 관정정비 이후 수위강하량 약 15.11m에서 준정류상태로 도달했다. 양수 시작 후 16시간을 기점으로 양수를 중지하고 장기양수시험을 종료하였다. 관정정비 이전의 투수량계수는 3.02×10⁻⁵ m²/sec, 수리전도도는 2.80×10⁻⁷ m/sec, 저류계수는 0.001764으로 산출되었고, 관정정비 이후의 투수량계수는 2.73×10⁻⁵ m²/sec, 수리전도도는 2.54×10⁻⁷ m/sec, 저류계수는 0.001715로 산출되어 언급된 수리지질 특성인자에서 유의할 만한 변화는 나타나지 않은 것으로 확인되었다. <그림 7-54>, <표 7-54>.

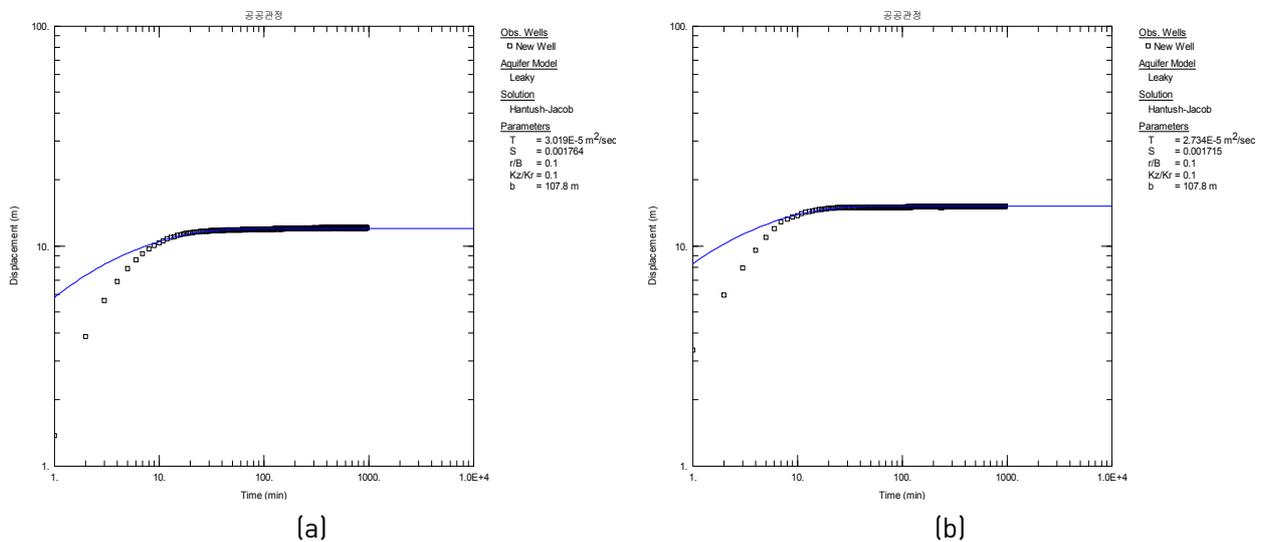


그림 7-54. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과:
관정정비 이전 Theis 해석(a) 및 관정정비 이후의 Theis 해석(b)

표 7-54. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 장기양수시험 결과표

수리지질특성 인자	관정정비 이전	관정정비 이후
투수량계수(T, m ² /sec)	3.02×10 ⁻⁵	2.73×10 ⁻⁵
수리전도도(K, m/sec)	2.80×10 ⁻⁷	2.54×10 ⁻⁶
저류계수(S)	0.001764	0.001715

3. 지하수 추가 확보량 평가 결과

앞서 분석된 12개소 농어업용 관정들 중 대표적인 3개 관정에 대하여, 각각 파워 버블, 고전압 펄스 방전 및 에어써징을 이용한 공내세척 실시 전후의 단계양수시험 자료를 분 기초로 지하수 추가 확보량을 정량적으로 평가하였다(표 7-55). 각 관정은 2001년에 개발된 암반관정으로, 개발 심도와 양수량은 각각 100m와 200~300

m³/day이다. 3곳의 관정 개발과정은 직경 250mm의 철재 외부케이싱을 설치한 후, 100m 심도까지 착정 후 직경 200mm의 PVC 재질의 우물자재(유공관과 무공관)를 설치하는 과정으로 진행되었다.

표 7-55. 기계적 처리 방법별 관정 제원

관정명	심도 (m)	구경(mm)		양수량 (m ³ /day)	기계적 처리 방법
		케이싱	스크린		
고안1	100	250	200	300	파워 버블
입암9	100	250	200	250	고전압 펄스 방전
제요1	100	250	200	200	에어써징

3개 농어업용 공공관정의 단계양수시험 결과를 상호간 비교하는 것이 적합한지를 판단하기 위하여, 16시간 동안의 장기양수시험을 공통적으로 실시하여 투수량계수와 저류계수를 산출하였다. 양수시험 자료는 Theis 방법(1935)과 Cooper-Jacob 방법(1946)으로 해석한 후 산술평균값을 계산하였다. 저류계수의 경우에는 단공 양수시험의 한계에도 불구하고 Choi(2007)가 제안한 시간-수위강하량 자료로부터 저류계수를 산정하는 회귀 공식을 활용하여 평가하였다(표 7-56).

표 7-56. 관정별 투수량계수 및 저류계수 산출 결과

관정명	투수량계수(cm ² /sec)			저류계수
	Theis	Cooper-Jacob	산술평균	
고안1	1.66	1.26	1.45	0.00039
입암9	1.79	1.58	1.68	0.00073
제요1	1.45	1.27	1.36	0.00053

해석 결과 3개 관정의 투수량 계수와 저류계수는 각각 1.36~1.68, 0.00039~0.00073으로 큰 차이가 없고, 관정별 개발 경과년도가 유사함에 따라 단계양수시험 결과를 비교하는데 적합한 조건으로 판단된다.

가. 단계양수시험

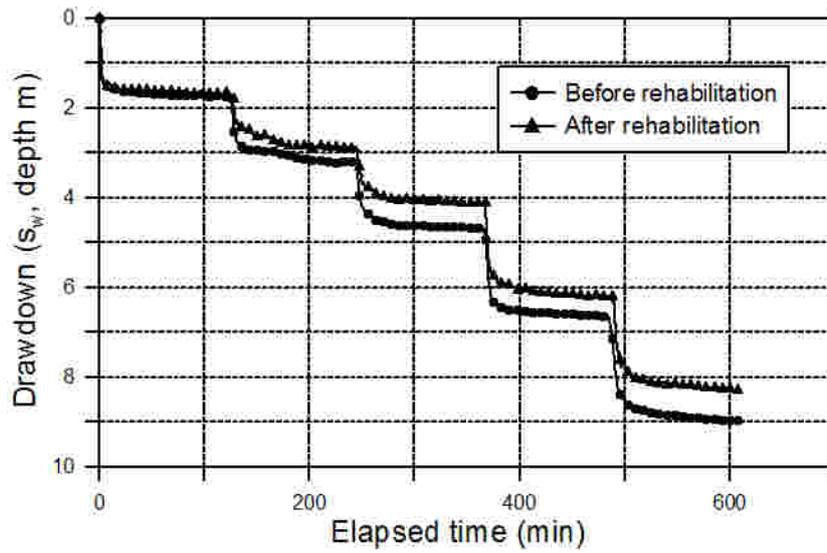
3개 농어업용 공공관정에 대하여, 3개 공내 세척 공법 적용 전·후 단계양수시험 결과를 비교하고 각 단계별 비수위강하량을 산출하였다(표 7-57), (그림 7-55). 일반적으로 단계양수시험에서의 단계별 양수량은 해당 관정에서 일정하게 사용하는 양수량(regular pumping rate)의 1/3, 2/3 및 3/3 단계로 진행하지만(Houben and Treskatis, 2007), 본 연구에서는 각 단계별로 파쇄암반대수층의 대수층 수두손실을 변화 발생 가능성을 고려하여 각각 5 단계로, 각 단계별 120분간 시험하였다. 단계양수시험은 수중모터펌프로부터 토출량을 일정하기 위해 30~60Hz 대역의 주파수변조기(frequency modulator)를 이용하였다. 단계별 양수량 증가분은 각 관정별 토

출량을 고려하여 고안1과 입암9 관정은 각각 평균 50m³/day, 제요1 관정은 평균 40m³/day로 증가시키며 시험을 진행하였다.

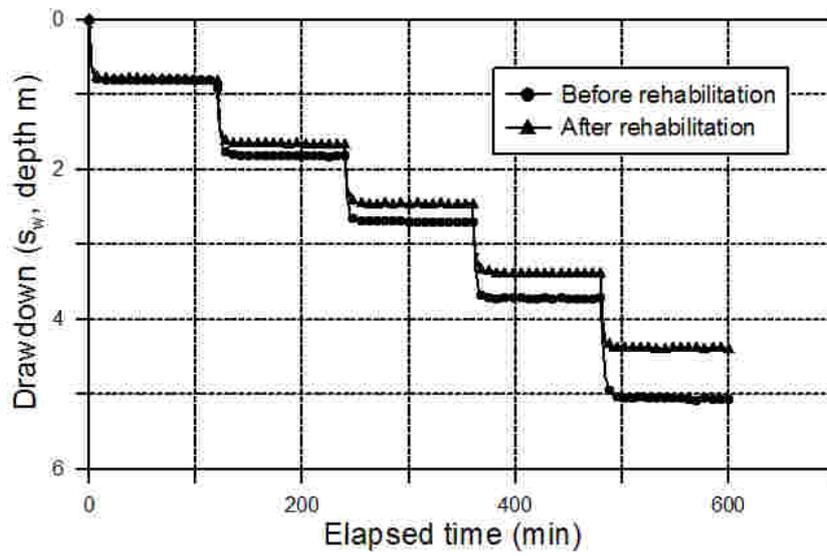
표 7-57. 관정정비 전후 단계양수시험 결과 요약

관정명	단계	시간 (min)	양수량 (Q, m ³ /day)		수위강하량 (s _w , m)			비수위강하량 (s _w /Q, day/m ²)		
			이전	이후	이전	이후	차이	이전	이후	차이
고안1	1	120	99	103	1.74	1.67	0.07	0.01758	0.01621	0.00137
	2	120	152	149	3.19	2.89	0.30	0.02101	0.01942	0.00159
	3	120	199	195	4.66	4.11	0.55	0.02344	0.02108	0.00236
	4	120	251	253	6.63	6.21	0.42	0.02642	0.02456	0.00186
	5	120	301	305	8.96	8.26	0.70	0.02978	0.02707	0.00271
입암9	1	120	54	51	0.90	0.82	0.08	0.01667	0.01608	0.00059
	2	120	103	101	1.81	1.67	0.14	0.01757	0.01653	0.00104
	3	120	148	148	2.71	2.48	0.23	0.01831	0.01676	0.00155
	4	120	196	199	3.73	3.41	0.32	0.01903	0.01714	0.00189
	5	120	250	252	5.04	4.40	0.64	0.02016	0.01746	0.00270
제요1	1	120	38	38	0.60	0.57	0.03	0.01579	0.01500	0.00079
	2	120	81	83	1.42	1.32	0.10	0.01753	0.01590	0.00163
	3	120	122	121	2.31	2.01	0.30	0.01893	0.01661	0.00232
	4	120	162	164	3.28	2.87	0.41	0.02025	0.01750	0.00275
	5	120	201	200	4.29	3.68	0.61	0.02134	0.01840	0.00294

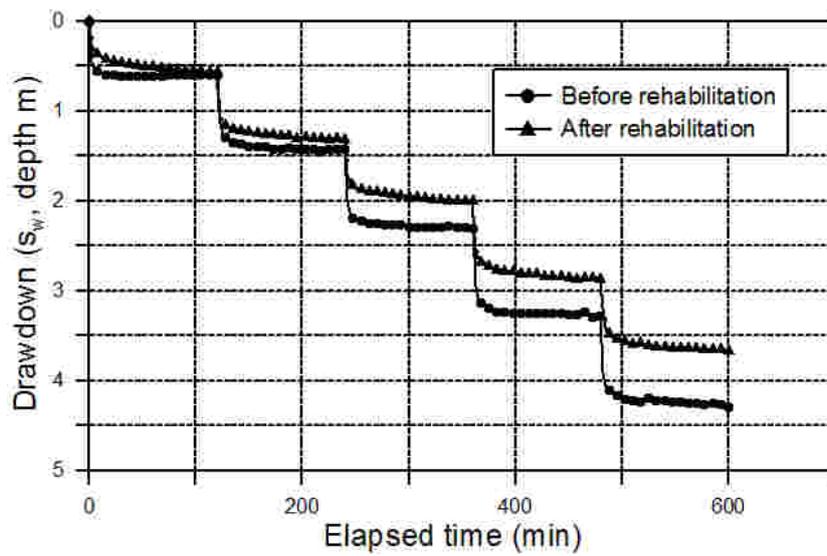
3곳의 관정에 대한 단계양수시험 결과 공내 세척 공법 이후 단계가 증가함에 따라 수위강하량의 감소폭과 비수위강하량의 차이가 점차 증가하는 것으로 나타났다. 파워 버블 방법이 적용된 고안1 관정의 수위강하는 공내세척 이후 0.07~0.70m 만큼 감소하였으며, 비수위강하량은 0.00137~0.00271day/m² 만큼 증가하였다. 고전압 펄스 방전 방법이 적용된 입암9 관정에서의 수위강하는 공내세척 이후 0.08~0.64m 만큼 감소하였고, 비수위강하량은 0.00059~0.00270day/m² 만큼 증가되었다. 에어써징 방법이 적용된 제요1 관정의 수위강하는 공내세척 이후 0.03~0.61m 만큼 감소하였으며, 비수위강하량은 0.00079~0.00294day/m² 만큼 증가되는 것으로 나타났다.



(a)



(b)



(c)

그림 7-55. 관정정비 전후 단계양수시험 결과: 고안1(a), 입암9(b), 제요1(c)

나. 수두 손실을 및 추가 확보 양수량 평가

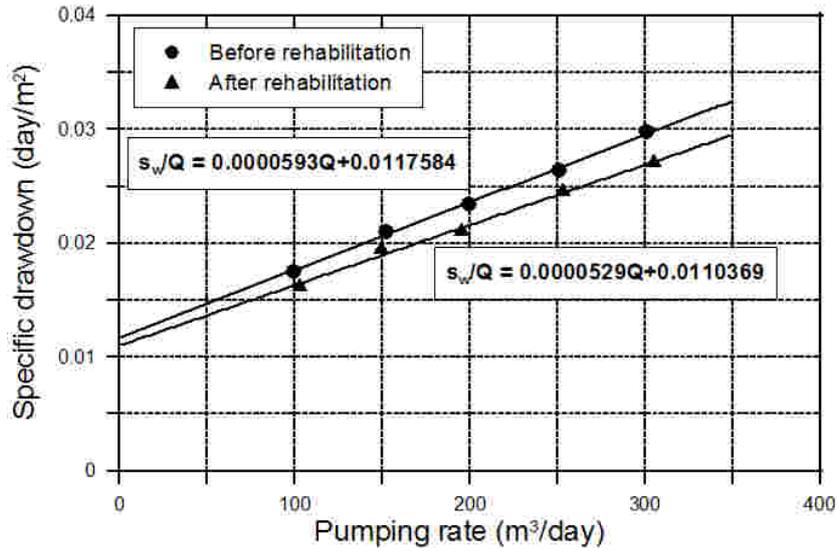
3가지 공내 세척 방법을 각각 적용한 관정별로 계산된 공내 세척 이후의 우물 수두손실계수(C)는 11~61% 감소한 것으로 나타난 반면, 대수층 수두손실계수(B)는 파워 버블을 이용한 방법이 6.1%로 다른 두 가지 방법에 비해 상대적으로 감소폭이 큰 것으로 밝혀졌다(표 7-58),〈그림 7-56〉.

이는 파워 버블 방법이 스크린 구간에 대해 약 30cm 간격으로 약 5회 이상 200~300psi의 강한 압력으로 버블을 지속적으로 발생시킴에 따라, 우물자재와 공벽 사이의 여재와 함께 주변 대수층에 대한 세척 영향이 다른 두 가지 방법에 비해 상대적으로 크게 미침에 따른 결과로 판단된다. 고전압 펄스 방전 방법은 우물 수두손실계수 감소가 가장 큰 반면에 대수층 수두손실 수 변화가 거의 없는 것으로 나타났는데, 이는 수중 충격파로 인한 스크린 구간의 세척효과가 극대화되는데 비해 여재 및 대수층 구간에 대한 세척 효과가 상대적으로 낮기 때문으로 판단된다.

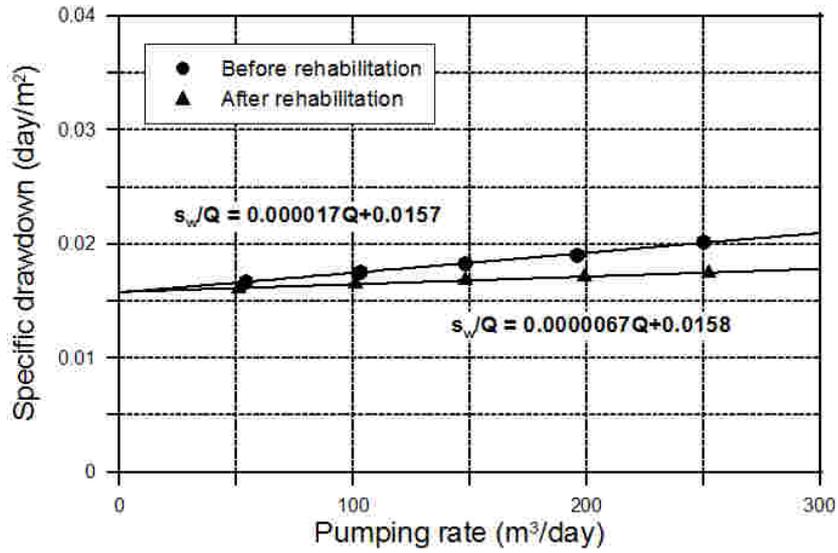
에어써징 방법의 경우에는 우물 수두손실계수와 대수층 수두손실계수 모두에서 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 본 방법은 공저에 설치된 압축공기 발생 장치로부터 분사되는 압력을 특정한 스크린 구간에 효과적으로 전달하기 어려웠던 단점이 있다. 그러나 이들 관정별로 적용된 3가지 공내 세척 방법의 정량적인 결과는 본 연구에 활용된 관정별 대수층 특성 차이가 고려되지 않았기 때문에, 전체 관정에 적용시키기에는 한계가 있다. 따라서 관련된 추가적인 연구 개발이 필요할 것으로 판단된다.

표 7-58. 관정정비 전후의 우물 수두손실계수와 대수층 수두손실계수 평가 결과

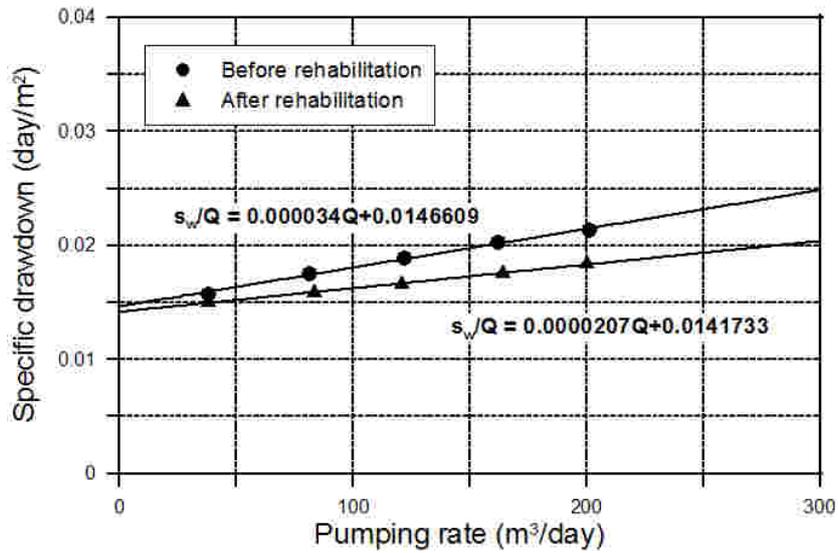
관정명	대수층 수두손실계수(B, day/m ²)			우물 수두손실계수(C, day ² /m ⁵)		
	이전	이후	변화율(%)	이전	이후	변화율(%)
고안1	0.0117584	0.0110369	6.1	0.0000593	0.0000529	10.8
입암9	0.0157000	0.0158000	-0.6	0.0000170	0.0000067	60.6
제요1	0.0146609	0.0141733	3.3	0.0000340	0.0000207	39.1



(a)



(b)



(c)

그림 7-56. 관정정비 전후 양수량 대비 비수위강하량 변화: 고안1(a), 입암9(b), 제요1(c)

앞서 제시된 실험 결과를 이용하여 (식 7-1)에서 제시한 바와 같이 3가지 방법의 공내 세척 전후의 수위강하량 변화값과 공내 세척 이후의 비양수량을 곱하여 공내 세척 이후의 각 관정별 개발 가능량의 증가분을 계산하였다(표 7-59). 이를 통하여 계산된 추가 확보 양수량은 각각 파워 버블 방법을 적용한 고안1 관정은 23.3m³/day, 고전압 펄스 방전 방법을 적용한 입암9 관정은 32.1m³/day, 에어써징 방법을 적용한 제요1 관정은 31.5m³/day로 나타났다. 관정 토출량 대비 증가 비율은 각각 7.6%, 12.7%, 15.8%로, 토출량이 가장 많은(300m³/day) 고안1 관정의 증가 비율이 가장 적은(7.6%) 반면 토출량이 가장 적은(200m³/day) 제요1 관정의 증가 비율이 가장 큰(15.8%) 것으로 나타났다. 이러한 경향으로 부터 양수량이 상대적으로 적은 관정에 대한 처리 방법 적용 및 성능 개선 효과가 상대적으로 큰 것으로 판단된다.

표 7-59. 관정별 추가 확보 양수량 평가 결과

관정명	관정정비 이후 최대양수량 (Qa, m ³ /day)	관정정비 이후 수위강하량 (s _{wa} , m)	수위강하량 차이 (Δs_w , m)	추가 확보 양수량 ($\Delta Q = \Delta s_w \cdot Q_a / s_w$, m ³ /day)	증가율 (%)
고안1	305	8.26	0.63	23.3	7.6
입암9	252	4.40	0.56	32.1	12.7
제요1	200	3.68	0.58	31.5	15.8

4. 수중TV 검층 결과

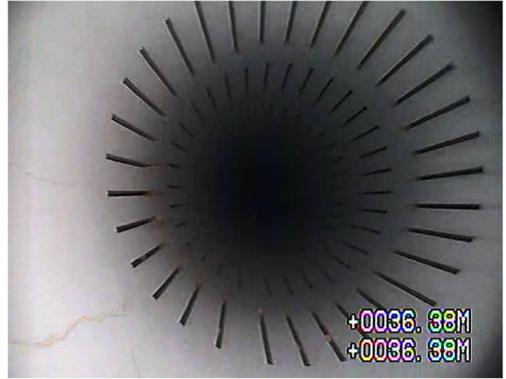
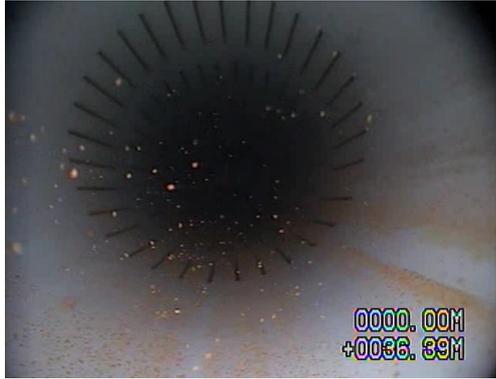
가. 파워 버블 적용 시설

(1) 고안1 관정

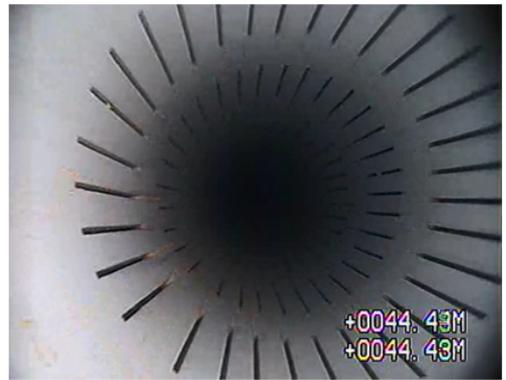
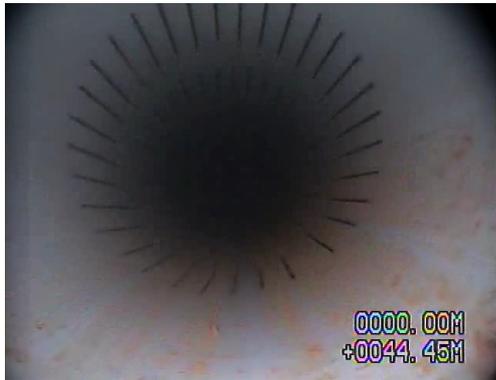
고안1 관정에 대한 관정정비 이전 수중TV 검층 결과 다소 부유물이 확인되었으나, 대체로 탁도가 높지 않은 상태로 확인되었다. 내부의 우물자재 상태도 양호한 것으로 나타났으며, 스크린 구간에서 뚜렷한 공막힘 현상은 확인되지 않았다. 관정심도는 75m이며 스크린 구간은 심도 36~40m, 44~48m, 52~56m, 60~64m, 68~72m으로, 4m 간격으로 심도 32m에서 72m 까지 총 20m 길이로 설치된 것으로 파악되었다. 관정정비 이후 수중TV 검층결과 전체적으로 관정정비 전보다 우물자재에 부착되어 있던 이물질이 감소하며 공내 탁도가 개선되는 것으로 확인되었다(그림 7-57).

구분	관정정비 이전	관정정비 이후
----	---------	---------

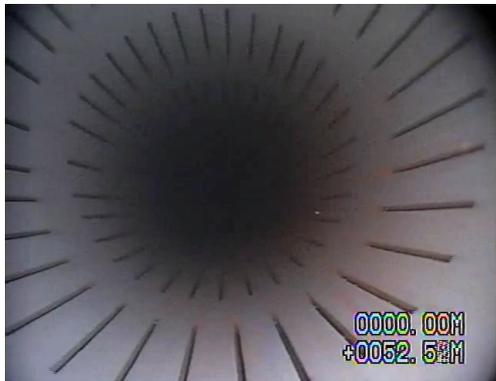
심도 36m
(유공관구간)



심도 44m
(유공관구간)



심도 52m
(유공관구간)



심도 65m
(무공관구간)



그림 7-57. 고안1 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과

(2) 대서 관정

대서 관정에 대한 관정정비 이전 수중TV 검층 결과, 관정심도는 총 79m이며 스크린 구간은 심도 31~39m, 43~51m, 63~71m로 총 24m 길이로 설치된 것으로 파악되었다. 내부 우물자재는 심도 약 75m 지점까지 설치된 것으로 나타났으며, 이후 관정 최종심도인 약 79m까지 구경 200mm인 나공상태로 확인되었다. 부유물은 다소 나타났으며, 내부 우물자재에 진갈색의 침전물로 피복되어 있는 상태로 확인되었다. 진갈색의 침전물은 철산 화물로 추정되나, 정확한 성분은 추가연구가 필요하다<그림 7-58>.

(3) 제요2 관정

제요2 관정에 대한 관정정비 전후의 수중TV 검층 결과, 관정심도는 79.7m이며 내부 우물자재는 심도 78.7m 까지 설치된 것으로 확인되었다. 유공관 구간은 심도 12.7~16.7m, 32.7~36.7m, 40.7~44.7m, 50.7~54.7m, 63.7~74.7m로 총 24m 설치된 것으로 파악되었다. 4m 규격의 무공관과 유공관이 차례로 연결되어 설치되어 있었다. 관정정비 이후 수중TV 검층 결과 전체적으로 관정 내부의 이물질이나 부유물은 매우 적었으며, 다른 공에 비해서도 공내 탁도가 낮은 것으로 확인되었다<그림 7-59>.

(4) 당진 관정

당진 관정에 대한 관정정비 이전의 검층 결과 확인된 관정심도는 82.2m이며, 내부 우물자재는 심도 60m까지 설치된 반면 심도 60~82.2m 구간은 나공상태로 나타났다. 스크린 구간은 12~16m, 24~28m, 40~44m, 52~56m 로 총 16m 설치된 것으로 파악되었다. 이 중 14~16m 구간의 유공관이 수직방향으로 파손된 부분이 나타났으나, 추가로 파손이 진행되거나 외부의 필터팩이 쏟아져 들어올 가능성은 적은 것으로 판단된다. 관정정비 이후 수중TV 검층결과 전체적으로 우물자재에 진갈색 또는 녹흑색으로 착색되어 있으나, 이물질이 부착되어 있어 관정효율에 문제를 일으킬 만한 사항은 없는 것으로 파악되었다. 공내 탁도도 비교적 낮은 것으로 확인되었다 <그림 7-60>.

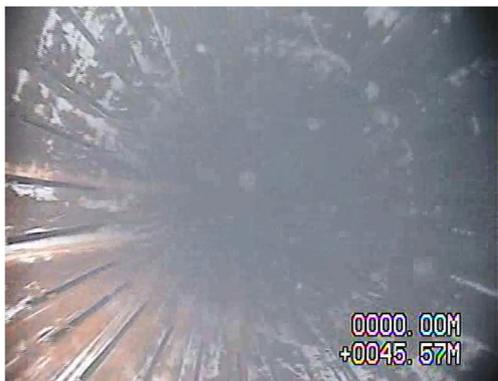
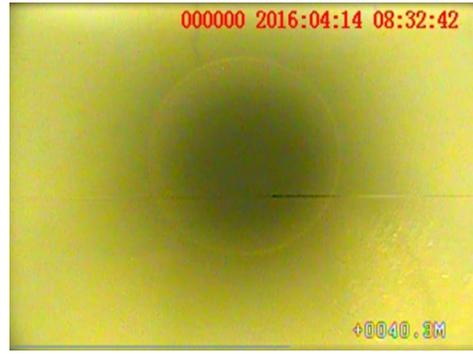
구분	관정정비 이전	관정정비 이후
심도 32m (유공관구간)	 <p data-bbox="715 577 842 645">+0032.00M +0032.00M</p>	 <p data-bbox="1257 577 1385 645">0000.00M +0031.92M</p>
심도 38m (유공관구간)	 <p data-bbox="715 1012 842 1079">+0038.02M +0038.02M</p>	 <p data-bbox="1257 1012 1385 1079">0000.00M +0038.04M</p>
심도 44m (유공관구간)	 <p data-bbox="715 1444 842 1512">+0044.00M +0044.00M</p>	 <p data-bbox="1257 1444 1385 1512">0000.00M +0045.57M</p>
심도 50m (유공관구간)	 <p data-bbox="715 1883 842 1951">+0050.04M +0050.04M</p>	 <p data-bbox="1257 1883 1385 1951">0000.00M +0050.05M</p>

그림 7-58. 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과



심도 15m (유공관)



심도 40m (무공관)

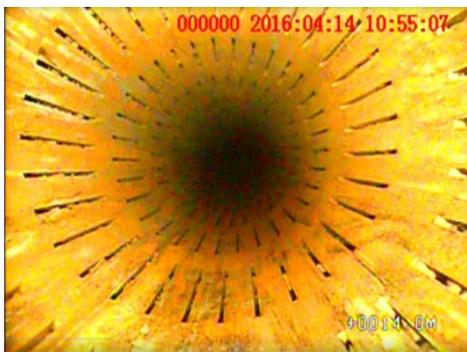


심도 70m (유공관) |



심도 70m (공저)

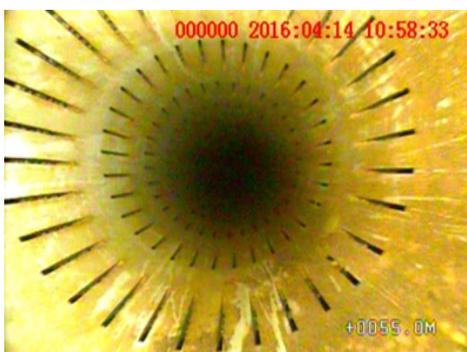
그림 7-59. 제요2 관정에 대한 관정정비 후 수중TV 검층 결과



(a) 심도 14m (유공관)



(b) 심도 50m (무공관)



(c) 심도 55m (유공관)



(c) 심도 55m (유공관)

그림 7-60. 당진 관정에 대한 관정정비 후 수중TV 검층 결과

나. 고전압 펄스 방전 적용 시설

(1) 승두2 관정

승두2 관정에 대한 관정정비 이전 수중TV 검층 결과는, 대체로 탁도가 높지 않은 것으로 확인되었다. 관정 심도는 99m로 스크린 구간은 심도 21~25m, 29~33m, 37~41m, 45~49m, 57~61m으로 파악되었다. 내부 우물자재는 심도 약 70m 지점까지 설치된 것으로 나타났으며, 관정 최종심도인 심도 약 99m까지 150mm 구경의 나공상태로 확인되었다. 관정정비 이후 수중TV 검층결과 전체적으로 관정정비 전보다 공내 탁도가 다소 개선된 것으로 확인되었다(그림 7-61).

(2) 입암9 관정

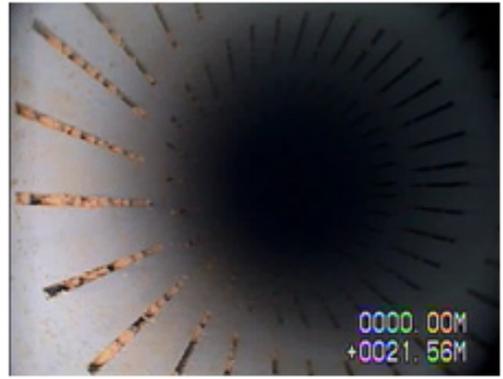
입암9 관정에 대한 관정정비 이전의 수중TV 검층 결과, 내부 우물자재 상태는 파손구간 없이 양호한 상태로 확인되었다. 관정심도는 총 95m로 스크린 구간은 심도 27~31m, 35~39m, 43~47m, 51~55m, 63~67m, 71~75m로 총 24m 길이로 설치되었다. 내부 우물자재는 심도 약 79m 지점까지 설치되었으며, 최종심도인 약 95m까지 150mm 구경의 나공으로 확인되었다. 관정정비 이전 스크린 구간의 침전물에 의한 공막힘 현상을 뚜렷히 나타나지 않았기 때문에, 관정정비에 의한 우물자재의 침전물 및 부착물 제거 효율을 판단하기는 어려웠다(그림 7-62).

(3) 당동 관정

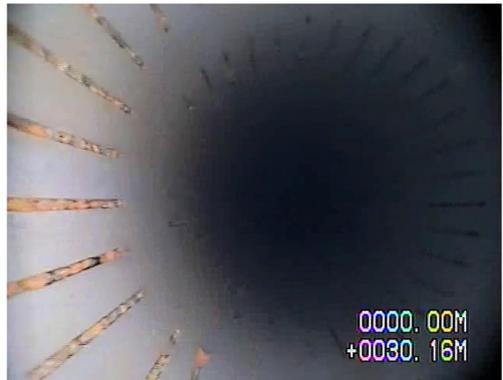
당동 관정에 대한 관정정비 이전 수중TV 검층 결과, 부유물이 매우 많고 진갈색의 세립질 물질로 전구간 피복되어 있는 것으로 확인되었다. 수중펌프가 위치해 있던 심도 71m 부근에는 우물자재가 파손되어 있었다. 관정정비 이후 수중TV 검층으로 확인한 관정심도는 138m로, 우물자재가 80m까지 설치되어 있어 80~138m 구간은 나공이었다. 유공관 구간은 심도 12~16m, 20~24m, 32~36m, 44~48m, 56~60m, 68~72m으로 총 24m 길이로 설치된 것으로 파악되었다. 관정정비 이후 수중TV 검층결과 정비 이전에 비해 상대적으로 공내 탁도가 다소 개선되고 부유물이 감소하였으나, 여전히 진갈색의 색도를 나타내었다(그림 7-63).

구분	관정정비 이전	관정정비 이후
----	---------	---------

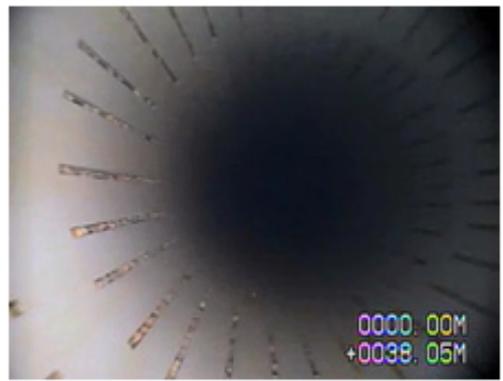
심도 22m
(유공관 구간)



심도 30m
(유공관 구간)



심도 38m
(유공관 구간)



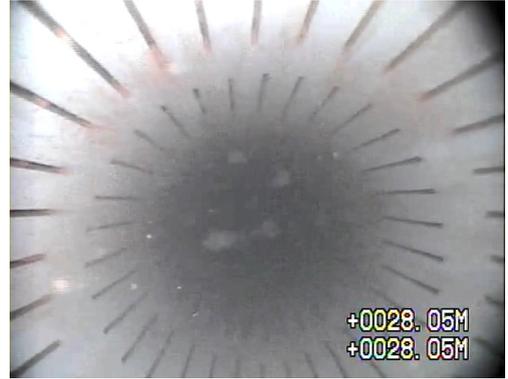
심도 41m
(유공관 구간)



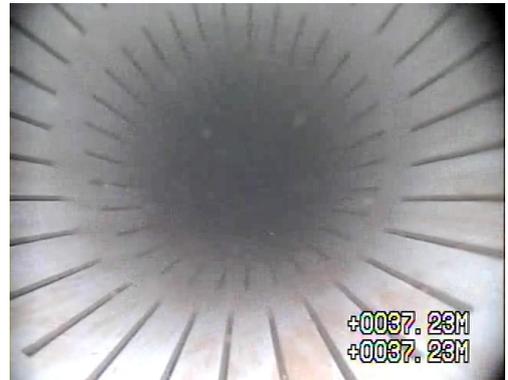
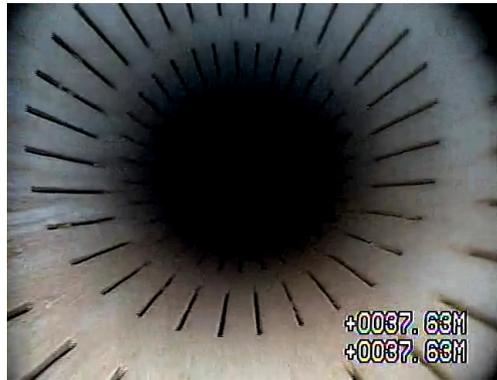
그림 7-61. 승두2 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과

구분	관정정비 이전	관정정비 이후
----	---------	---------

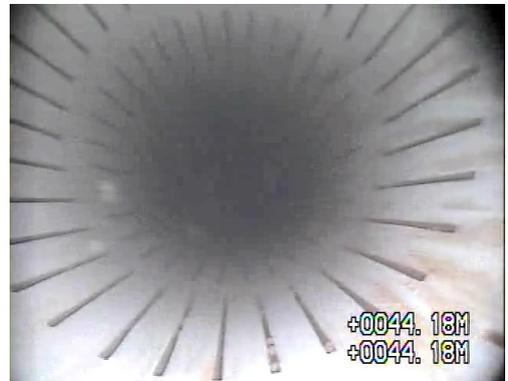
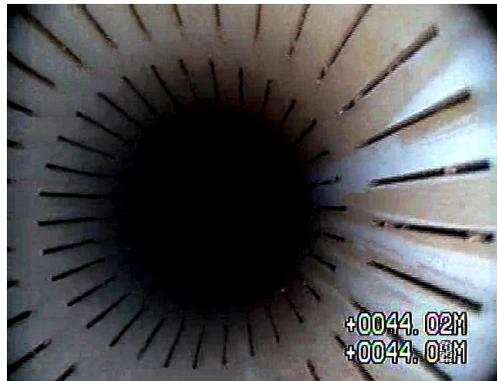
심도 28m
(유공관 구간)



심도 37m
(유공관 구간)



심도 44m
(유공관 구간)



심도 79m
(무공관 구간)

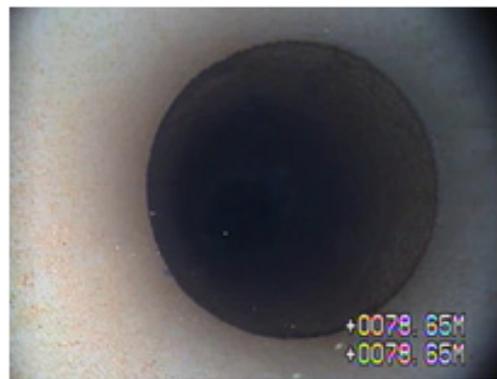


그림 7-62. 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과

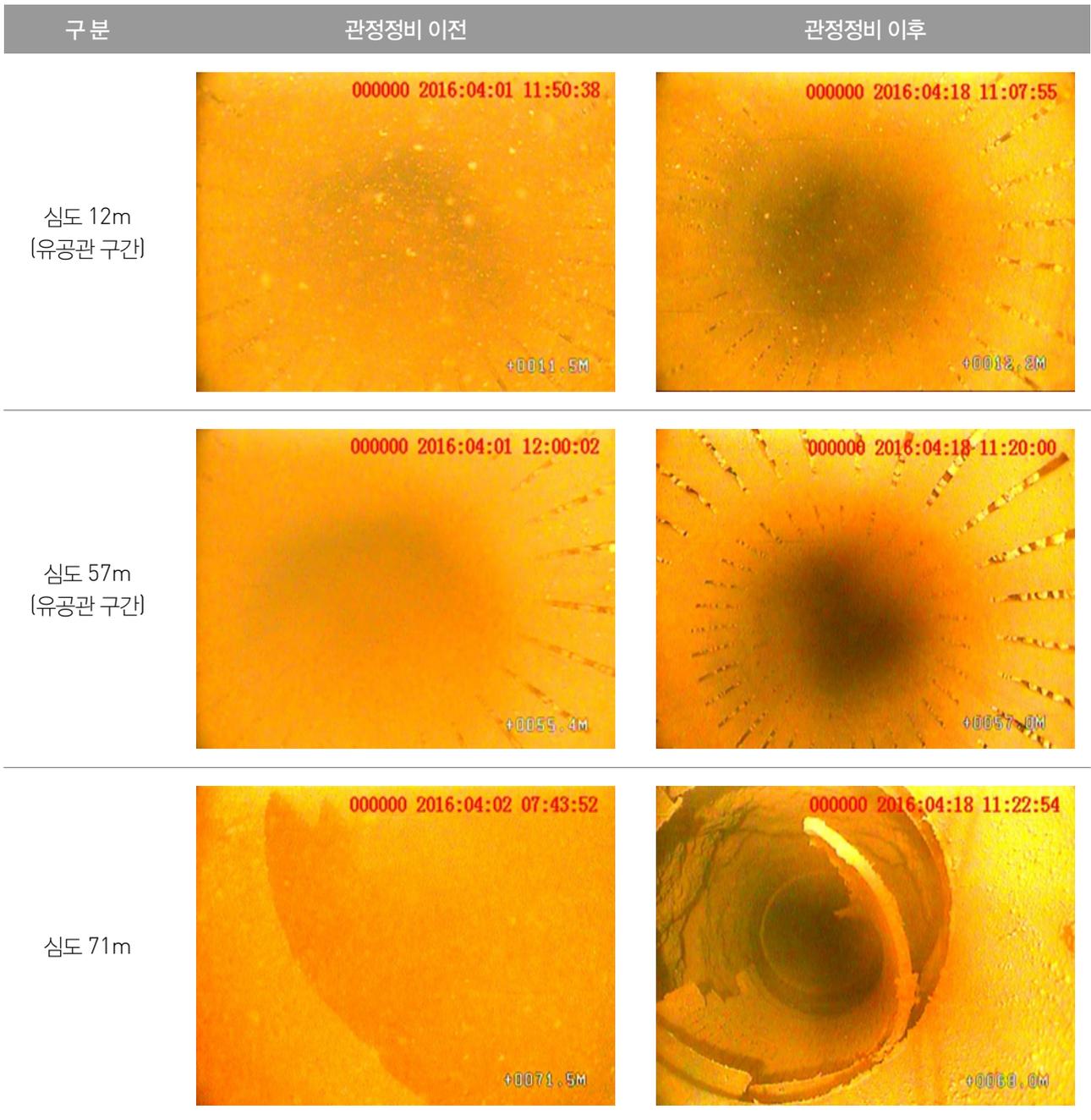


그림 7-63. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과

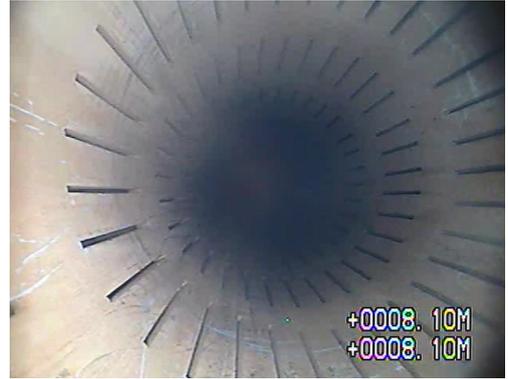
다. 에어써징 적용 시설

(1) 상수6 관정

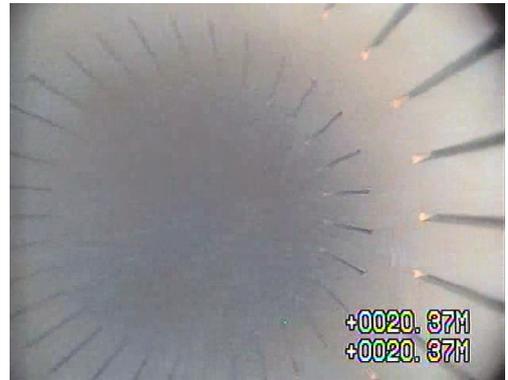
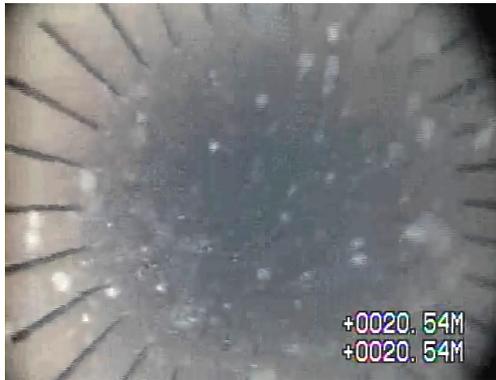
상수6 관정에 대한 관정정비 이전의 수중TV 검층 결과 내부 부유물이 다소 확인되었다. 관정 심도는 총 86m이며 스크린 구간은 심도 7~11m, 19~23m, 31~35m, 43~47m, 55~59m, 67~71m로 총 24m 길이로 설치된 것으로 파악되었다. 내부 우물자재는 심도 약 79m 지점까지 설치되었으며, 최종 심도인 약 86m까지 150mm 구경의 나공상태로 확인되었다. 관정정비 이후 수중TV 검층 결과 전체적으로 관정 내 부유물이 관정정비 전보다 감소한 것으로 나타났다(그림 7-64).

구분	관정정비 이전	관정정비 이후
----	---------	---------

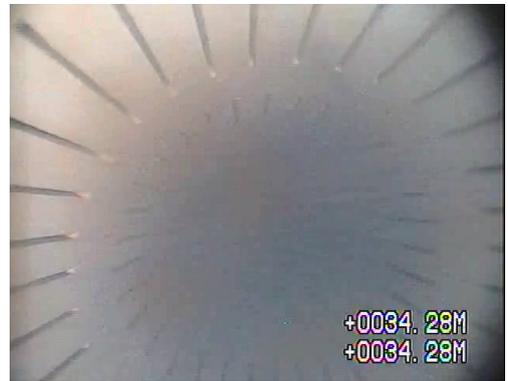
심도 8m
(유공관 구간)



심도 20m
(유공관 구간)



심도 34m
(유공관 구간)



심도 43m
(유공관 구간)

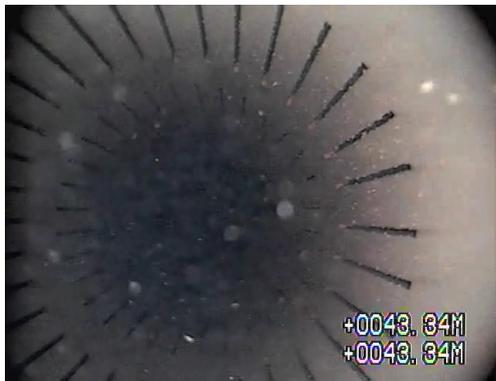


그림 7-64. 상수6 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과

(2) 제요1 관정

제요1 관정에 대한 관정정비 이전 수중TV 검층 결과, 관정심도는 총 99m로 스크린 구간은 심도 15~19m, 23~27m, 39~43m, 47~51m, 59~63m, 71~75m로 총 24m 길이로 설치된 것으로 파악되었다. 내부 우물자재는 심도 약 79m 지점까지 설치된 것으로 나타났으며, 최종심도인 약 99m까지 구경 200mm인 나공상태로 확인되었다. 내부우물자재의 상태는 파손 및 공막힘 현상이 없는 양호한 상태로 파악되었다(그림 7-65).

(3) 해창1 관정

해창1 관정에 대한 관정정비 이전의 수중TV 검층 결과, 심도는 총 99m로 스크린 구간은 심도 13~17m, 21~25m, 29~33m, 37~41m, 49~53m로 총 20m 길이로 설치된 것으로 파악되었다. 내부 우물자재는 심도 약 56m까지 설치되었으며, 최종심도인 약 99m까지 구경 200mm인 나공상태로 확인되었다. 내부우물자재의 상태는 파손 및 공막힘 현상이 없는 양호한 상태로 파악되었다(그림 7-66).

라. 브러싱 적용 시설

(1) 등원2 관정

등원2 관정에 대한 관정정비 이전의 수중TV 검층 결과 내부 부유물이 다소 확인되었으며, 옅은 갈색의 색도를 나타내었다. 관정심도는 총 99.3m이며 유공관 구간은 심도 20~24m, 28~32m, 40~44m, 48~52m, 56~60m, 68~72m로 총 24m 길이로 설치된 것으로 파악되었다. 내부 우물자재는 심도 약 80m 지점까지 설치된 것으로 나타났으며, 이후 99.3m까지 200mm 직경의 나공상태로 확인되었다. 관정세정 후 수중TV 검층결과 전체적으로 관정내 부유물이 세정 전보다 감소한 것으로 나타났다(그림 7-67).

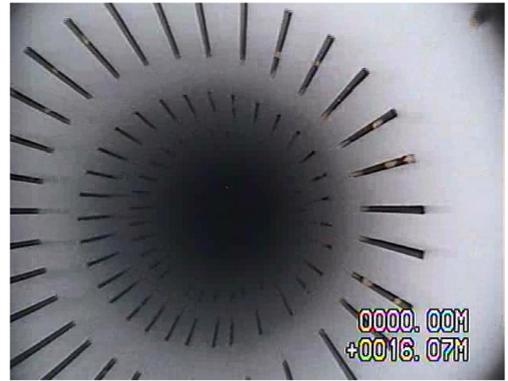
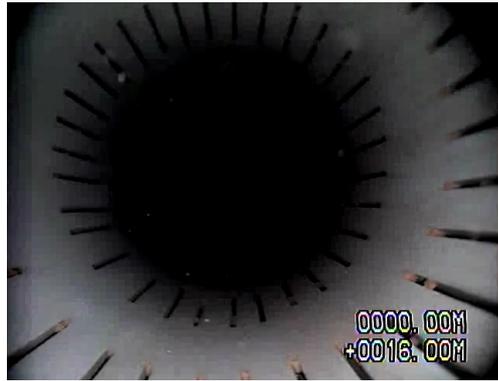
마. 워터제팅 적용 시설

(1) 선유1 관정

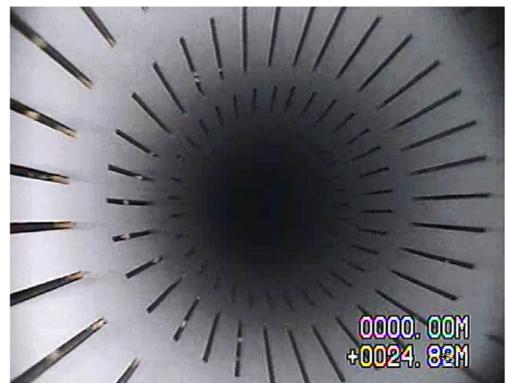
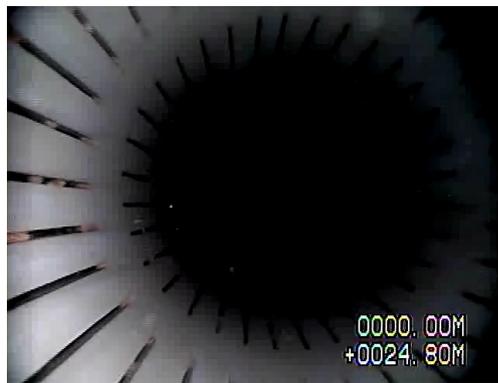
선유1 관정에 대한 관정정비 이전의 수중TV 검층 결과, 관정심도는 총 106m로 이 중 스크린 구간은 심도 20~24m, 28~32m, 36~40m, 44~48m, 68~72m, 76~80m, 84~88m, 92~96m로 총 32m 길이로 설치된 것으로 파악되었다. 내부 우물자재의 상태는 파손 및 공막힘 현상이 없는 양호한 상태로 파악되었다. 우물자재에 부착된 세립질 물질은 관정정비 이전에 비해 감소한 것으로 나타났다(그림 7-68).

구분	관정정비 이전	관정정비 이후
----	---------	---------

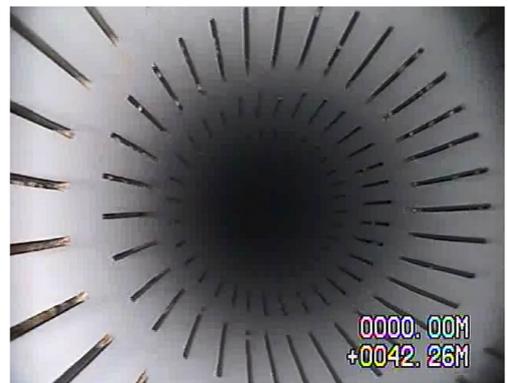
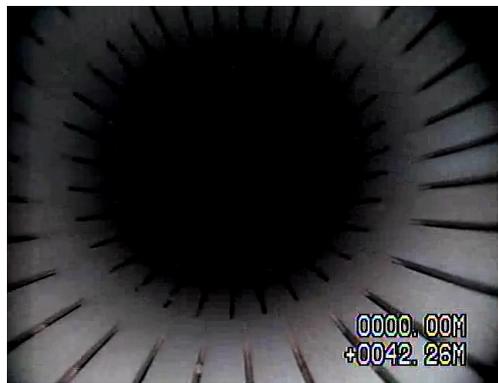
심도 16m
(유공관 구간)



심도 24m
(유공관 구간)



심도 42m
(유공관 구간)



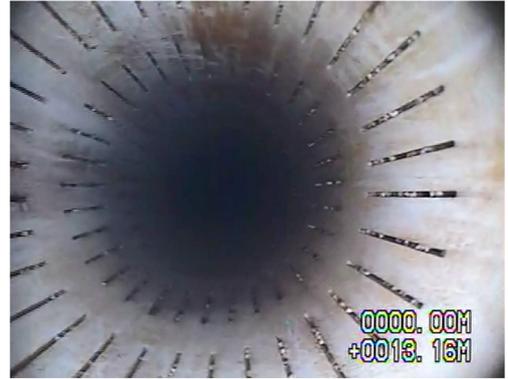
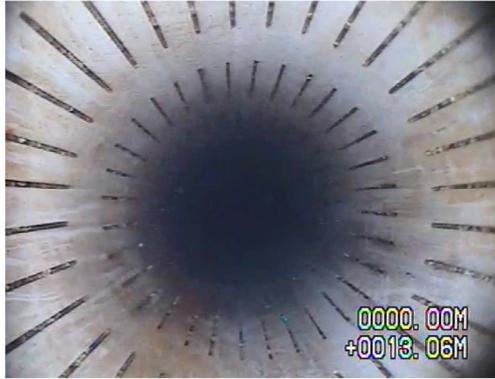
심도 79m



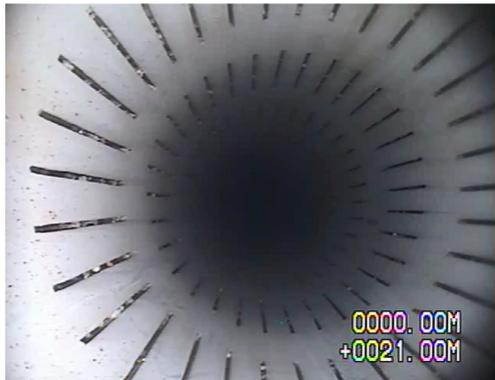
그림 7-65. 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과

구분	관정정비 이전	관정정비 이후
----	---------	---------

심도 13m
(유공관 구간)



심도 21m
(유공관 구간)



심도 30m
(유공관 구간)



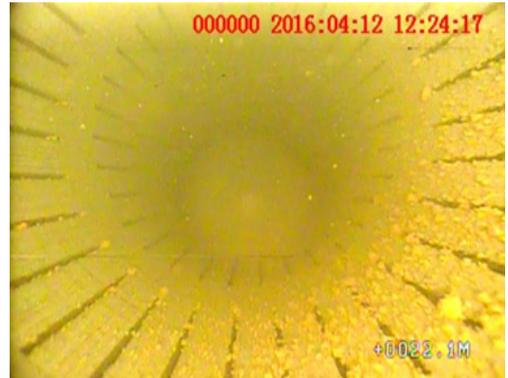
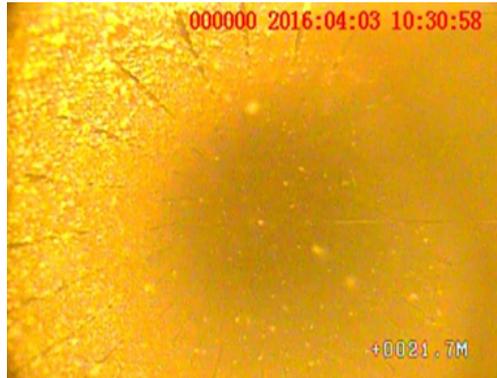
심도 56m
(나공 구간)



그림 7-66. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과

구분	관정정비 이전	관정정비 이후
----	---------	---------

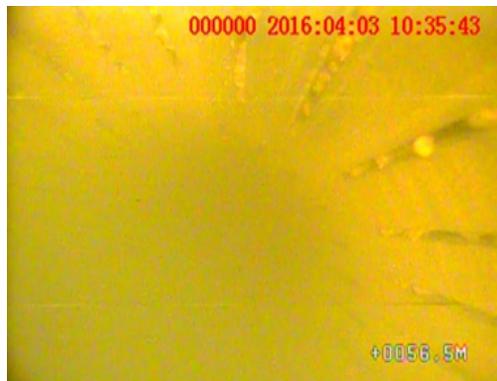
심도 22m
(유공관 구간)



심도 48m
(유공관 구간)



심도 56m
(유공관 구간)



심도 100m
(공저)

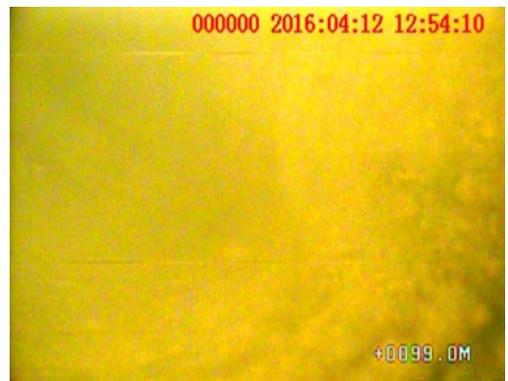
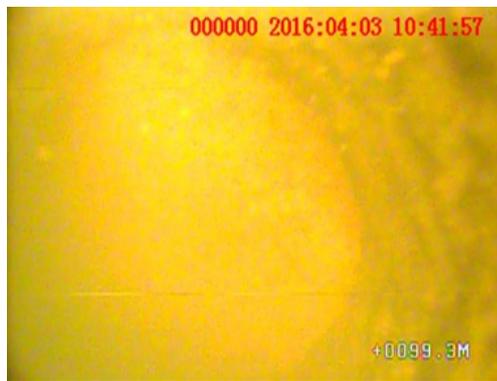
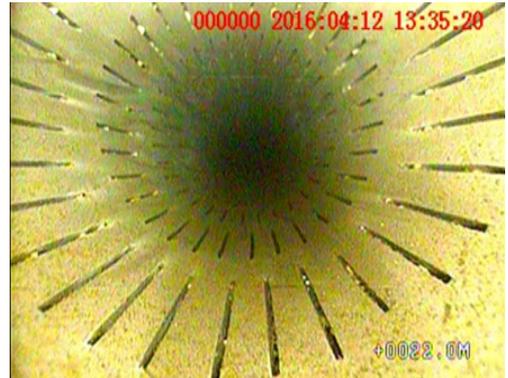
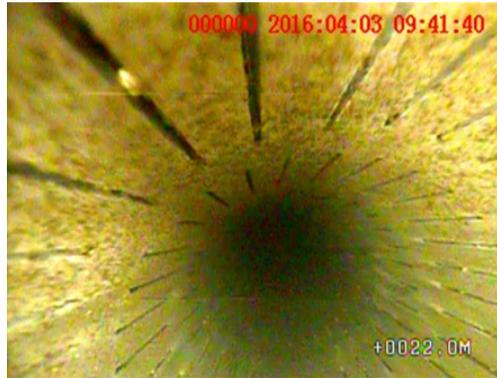


그림 7-67. 등원2 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과

구분	관정정비 이전	관정정비 이후
----	---------	---------

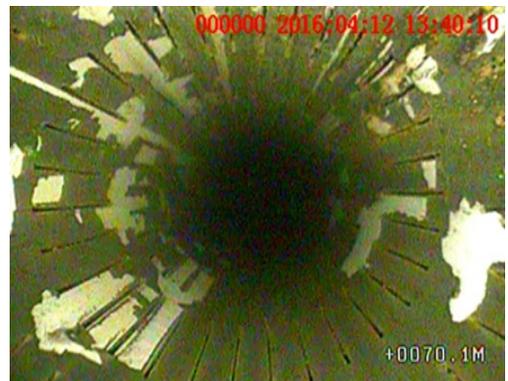
심도 122m
(유공관 구간)



심도 50m
(무공관 구간)



심도 70m
(유공관 구간)



심도 106m
(공저)



그림 7-68. 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 수중TV 검층 결과

제3절 토의 및 결론

12개 관정에 대한 관정정비 전·후 우물개선 검토 결과, 수량측면에서 우물효율은 약 2~11% 향상되었지만, 개별 관정정비 방식에 따른 우물효율 개선의 차이는 뚜렷하지 않았다. 대체적으로는 대수층 수두손실계수는 관정정비 전·후 유사하였으며, 우물 수두손실계수는 다소 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 대수층 특성이 유사하고 개발된 시점이 비슷한 3개소 농어업용 지하수 공공관정에 대하여 기계적 처리 방법(파워 버블, 고전압 펄스 방전, 에어써징)을 각각 적용한 후, 단계양수시험 자료를 활용하여 처리 전후의 단계별 비수위강하량 변화, 우물/대수층 수두손실 계수 변화 및 추가 확보 양수량 등 관정 성능 개선 효과를 정량적으로 평가하였다. 비수위강하량은 세 가지 방법 공통적으로 단계가 증가함에 따라 증가하였으며, 마지막 단계에서는 공내 세척 이전에 비해 $0.0027\sim 0.0029\text{day/m}^2$ 으로 약 9~14% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 3개소 공공관정 모두에서 세척 효과가 나타난 것으로 판단된다.

세척 효과를 정량적으로 판단할 수 있는 인자로 대수층 수두손실 계수를 계산한 결과 파워 버블 방법을 적용한 관정에서 감소 효과가 가장 뚜렷했으며, 고전압 펄스 방전 방법을 이용한 관정에서 가장 작은 것으로 나타났다. 그러나 우물 수두손실 계수는 펄스 방전 방법을 이용한 관정에서 가장 큰 반면 파워 버블 방법을 적용한 관정에서 상대적으로 작은 결과가 나타났다. 이는 파워 버블 세척 방식이 스크린 외곽의 여재와 대수층 구간까지 효과가 나타났기 때문이고, 고전압 펄스 방전의 경우 스크린 구간에 대한 수중 충격과 발생으로 인한 세척 효과가 극대화되기 때문으로 해석된다. 공내 세척 전후의 수위강하량 변화값과 공내 세척 이후의 비양수량 자료를 이용한 결과, 추가 확보 양수량은 전체 토출량 대비 8~16%로 나타났으며, 양수량이 상대적으로 적은 관정에서 처리 효과가 상대적으로 큰 것으로 평가된다.

현행 지하수법에는 사후관리 이후의 지하수 수량 증가 및 수질 개선 등 우물개선에 대한 정량적인 평가 기준 및 절차가 없기 때문에, 사후관리 작업에 대한 개선 효과를 판단할 수 없다. 따라서 본 연구에서 제시한 단계양수시험 결과를 참고하는 경우, 사후관리에 따른 우물 성능의 개선 및 추가 지하수 확보 수량을 정량적으로 계산할 수 있다. 이러한 결과를 이용하면 추가로 확보된 지하수 수량을 체계적으로 배분하여 최적의 농업정책 마련이 가능하며, 국내에서 활용되는 사후관리 공법의 맞춤형 적용에 참고가 가능할 것으로 판단된다.

제8장 정비공법별 지하수 수질 개선의 정량적 평가

제1절 연구방법

1. 지하수 수질분석

총 12 개소 관정별로 양수시설 인양 이전 및 재설치 후 각각 장기양수시험을 실시한 후 지하수 수질 분석을 위한 시료를 채취하였으며, 채취된 시료는 공인된 먹는물 수질검사기관인 위엔라이프(주)에 분석 의뢰하였다. 수질분석 항목은 총 23개 항목으로 카드뮴, 비소, 시안, 수은, 유기인, 페놀, 납, 6가크롬, TCE, PCE, 111-TCA, pH, 질산성질소, 염소, 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 암모니아성질소, 과망간산칼륨소비량, 철, 망간, 탁도, 색도이다(표 8-1).

표 8-1. 수질분석 항목 및 수질기준

분석항목	지하수 농·어업용수 수질기준 ¹⁾ (mg/L)	지하수 먹는물 수질기준 ²⁾ (mg/L)
pH	6.0 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5
질산성질소	20 이하	10 이하
염소이온	250 이하	250 이하
카드뮴	0.01 이하	0.005 이하
비소	0.05 이하	0.01 이하
시안	0.01 이하	0.01 이하
수은	0.001 이하	0.001 이하
유기인	0.0005 이하	-
페놀	0.005 이하	0.005 이하
납	0.1 이하	0.01 이하
6가크롬	0.05 이하	0.05 이하
TCE	0.03 이하	0.03 이하
PCE	0.01 이하	0.01 이하
1,1,1-TCE	0.3 이하	0.1 이하
일반세균	-	100CFU/mL 이하
총대장균군	-	불검출
분원성대장균군	-	불검출
암모니아성질소	-	0.5 이하
과망간산칼륨소비량	-	10 이하
철	-	0.3 이하
망간	-	0.3 이하
탁도	-	1NTU 이하
색도	-	5도

1) 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙(환경부령 제476호) [별표 4] 지하수의 수질기준(제11조 관련)

2) 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙(환경부령 제553호) [별표 1] 먹는물의 수질기준(제2조 관련)

2. 소독제 투입

수중TV 검층 후 우물소독제를 투여하여 관정 내부의 미생물 관련 오염물질에 대한 소독을 시행하였다. 소독약품으로는 많이 쓰이는 차아염소산나트륨(5%, 고체)을 사용하였으며, 소독약품 투입량 산정은 “수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙”에 제시되어 있는 적정 투입량으로 투입하였다. 아래는 소독약품 투입량 산정방식이다.

$$V = Q \times R \times \frac{100}{C} \times \frac{1}{d} \times 10^{-3}$$

V: 용적주입량(L), Q: 처리수량(m³/h)

R: 염소주입률(mg/L)=0.1mg/L

C: 유효염소농도(%)=5%(w/v)

d: C%일 때의 밀도(kg/L)=1.085kg/L

→ 차아염소산나트륨의 용적주입량 = 0.00184 L/m³ = 1.84mL/m³

제2절 연구결과

1. 지하수 수질 분석 결과

관정정비 이전 수중TV 검층 완료 후 관정소독에 많이 쓰이는 차아염소산나트륨(5%, 고체)을 “수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙”에 제시된 주입량 토대로 적정량을 계산하여 투입하였다. 각 시설별 소독제 투입내역은 (표 8-2)와 같다. 본 연구에서 수행된 12개 공공관정에 대한 관정정비 및 관정소독이 각 관정 내의 스크린과 스크린 주변의 자갈 사이에 포함된 각종 이물질 제거에 미치는 영향과, 소독제인 차아염소산나트륨의 투여가 처리 전후에 지하수 수질에 미치는 영향을 분석할 목적으로 각 관정별로 처리 전후에 수질분석을 수행하였다. 수질분석은 농어업용수 수질기준의 항목과 이외에 농어업용수 수질에 영향을 미치는 항목에 대한 분석을 병행하였다. 지하수의 화학적 특성변화 및 수질변화를 파악하기 위하여 관정정비 전·후로 지하수 시료 채취를 진행하였다. 지하수 시료는 관정정비 전·후로 시행한 장기양수시험 종료직전에 4L 무균채수병에 시료를 채취하여 공인된 먹는물 수질검사기관에 분석을 의뢰하였다.

표 8-2. 각 시설별 소독제 투입내역

시설명	굴착구경 (mm)	굴착심도 (m)	지하수위 (m)	처리대상수량 (m ³)	소독제 투입량 (mL)
고안1	250	75	7.9	3.29	1.79
대서	250	79	3.4	3.71	2.02
제요2	250	100	2.8	4.77	9.54
당진	250	85	5.3	3.91	7.82
승두2	250	99	2.2	4.75	2.58
입암9	250	95	2.6	4.53	2.46
당동	250	100	3.4	4.74	9.48
상수6	250	86	2.0	4.12	2.24
제요1	250	99	1.7	4.77	2.59
해창1	250	99	1.2	4.80	2.61
등원2	350	100	3.1	9.32	18.64
선유1	250	100	2.4	4.79	9.58

가. 파워 버블 적용 시설

(1) 고안1 관정

고안1 관정의 경우 관정정비 전·후 수질분석 결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없으며, 먹는물수질기준 항목 중 일반세균이 부적합한 것으로 나타났다. 관정 세척 후에도 일반세균의 지속적인 과다 검출은 지상에 드러난 토출시설 또는 토출관과 연결된 튜브에 미생물이 생존하기 때문으로 판단되며, 안전한 지하수 이

용을 위해서는 농어업용 튜브의 주기적 교체이용 또는 세척이용 등이 요구된다. 또한 질산성질소, 염소이온 및 과망간산칼륨소비량 등 수질분석 항목 농도가 관정정비 전·후 변화가 거의 발생하지 않았다(표 8-3). 이는 관정 내부 물질 제거와 무관하게 대수층 조건에 큰 변화가 없었기 때문으로 판단된다.

(2) 대서 관정

관정정비 이전의 수질분석 결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없으며, 먹는물수질기준 항목 중 일반세균, 총대장균군, 탁도가 부적합한 것으로 분석되었다(표 8-3). 그러나 관정정비 이후의 수질분석 결과 일반세균을 제외한 모든 항목이 농어업용 및 먹는물 수질기준을 만족하였으며, 철 항목도 감소한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 관정정비 및 소독 이후 관정내부 자재에 침전되어 있던 유기물이 제거됨에 따라 과망간산칼륨소비량이 다소 감소하였으며, 부식 및 유기물 산화에 따른 철, 망간 농도도 다소 감소한 것으로 판단된다. 또한 관정내부 토사 및 이물질 제거에 따라 색도, 탁도가 현저히 감소하였다.

표 8-3. 고안1 및 대서 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과

분석항목	농어업용수 수질기준	먹는물 수질기준	고안1 관정		대서 관정	
			이전	이후	이전	이후
pH	6.0 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	6.2	7.0	6.9	7.2
질산성질소	20 이하	10 이하	3.3	4.2	3.9	3.9
염소이온	250 이하	250 이하	13	14	13	33
카드뮴	0.01 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
비소	0.05 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
시안	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
수은	0.001 이하	0.001 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
유기인	0.0005 이하	-	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
납	0.1 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬	0.05 이하	0.05 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
TCE	0.03 이하	0.03 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
PCE	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1.1-TCE	0.3 이하	0.1 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
일반세균	-	100CFU/mL 이하	1,900	2,200	110	5,400
총대장균군	-	불검출	불검출	불검출	검출	불검출
분원성대장균군	-	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소	-	0.5 이하	0.02	0.01	불검출	0.01
과망간산칼륨소비량	-	10 이하	1.6	1.3	0.6	0.3
철	-	0.3 이하	불검출	불검출	0.14	불검출
망간	-	0.3 이하	불검출	불검출	0.026	불검출
탁도	-	1NTU 이하	0.28	0.22	4.0	0.22
색도	-	5도	1	1	4	1

(3) 제요2 관정

관정정비 이전과 이후의 수질분석 결과, 농어업용 수질기준과 먹는물 수질기준을 초과하는 항목은 없었으며, 철과 망간의 농도가 다소 증가한 것으로 분석되었다(표 8-4). 그러나 상대적인 미량농도 증가는 자연적인 원인일 가능성도 있으므로, 관정세척과 그다지 큰 상관관계는 없는 것으로 판단된다.

(4) 당진 관정

관정정비 이전의 수질분석 결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없었으며, 먹는물 수질기준 항목 중 망간 항목이 부적합한 것으로 분석되었다(표 8-4). 관정정비 이후에는 망간 항목이 지속적으로 수질기준 이상으로 나타났으며, 철 항목이 수질기준에 근접하게 증가한 것으로 분석되었다. 철과 망간의 농도가 지속적으로 검출되고, 질산성질소가 거의 검출되지 않는 것으로 볼 때, 당진관정 지하수 대수층은 환원환경에 속해 있고, 따라서 환원환경에서 안정적인 물질이 과다 검출되는 것으로 추정된다. 당진 관정 지하수의 경우, 양수 후 짧은 기간 정치 후 사용하게 되면 산화환경으로 변화되어, 철과 망간 등이 침전되므로, 농어업용 지하수 이용에 별다른 문제를 일으키지는 않을 것으로 판단된다.

표 8-4. 제요2 및 당진 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과

분석항목	농어업용수 수질기준	먹는물 수질기준	제요2 관정		당진 관정	
			이전	이후	이전	이후
pH	6.0 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	6.1	6.1	6.6	6.3
질산성질소	20 이하	10 이하	8.2	8.1	0.1	0.2
염소이온	250 이하	250 이하	27.4	25.4	18.4	19.2
카드뮴	0.01 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
비스	0.05 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
시안	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
수은	0.001 이하	0.001 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
유기인	0.0005 이하	-	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
납	0.1 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬	0.05 이하	0.05 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
TCE	0.03 이하	0.03 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
PCE	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1.1-TCE	0.3 이하	0.1 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
일반세균	-	100CFU/mL 이하	0	0	0	0
총대장균군	-	불검출	0	0	0	0
분원성대장균군	-	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소	-	0.5 이하	불검출	불검출	불검출	0.07
과망간산칼륨소비량	-	10 이하	0.5	0.6	0.4	0.6
철	-	0.3 이하	불검출	0.13	불검출	0.25
망간	-	0.3 이하	0.006	0.018	0.531	0.859
탁도	-	1NTU 이하	0.10	0.30	0.41	0.59
색도	-	5도	1	1	1	1

나. 고전압 펄스 방전 적용 시설

(1) 승두2 관정

관정정비 전·후 수질분석결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없으며, 먹는물 수질기준 항목 중 일반세균이 부적합한 것으로 분석되었다(표 8-5). 관정정비 전·후로 수질항목 농도 변화가 거의 없으며 과망간 산칼륨소비량이 다소 감소하여 관정자재에 침전되어 있던 유기물이 다소 제거된 것으로 판단된다. 다만 관정 세척 후에도 일반세균의 지속적인 과다 검출은 지상에 드러난 토출시설 또는 토출관과 연결된 튜브에 미생물이 생존하기 때문으로 판단되며, 안전한 지하수 이용을 위해서는 농어업용 튜브의 주기적 교체이용 또는 세척 이용 등이 요구된다.

표 8-5. 승두2 및 입암9 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과

분석항목	농어업용수 수질기준	먹는물 수질기준	승두2 관정		입암9 관정	
			이전	이후	이전	이후
pH	6.0 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	6.6	7.0	6.4	7.0
질산성질소	20 이하	10 이하	0.3	0.7	1.3	3.0
염소이온	250 이하	250 이하	20	21	24	22
카드뮴	0.01 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
비소	0.05 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
시안	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
수은	0.001 이하	0.001 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
유기인	0.0005 이하	-	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
납	0.1 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬	0.05 이하	0.05 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
TCE	0.03 이하	0.03 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
PCE	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1.1-TCE	0.3 이하	0.1 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
일반세균	-	100CFU/mL 이하	1,824	7,100	1,400	4,400
총대장균군	-	불검출	불검출	불검출	검출	불검출
분원성대장균군	-	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소	-	0.5 이하	0.02	0.01	불검출	0.01
과망간산칼륨소비량	-	10 이하	1.3	0.3	0.6	1.3
철	-	0.3 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
망간	-	0.3 이하	불검출	불검출	0.007	0.008
탁도	-	1NTU 이하	0.22	0.23	0.28	0.20
색도	-	5도	1	1	1	1

(2) 입암9 관정

관정정비 전·후 수질분석결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없으며, 먹는물 수질기준으로 관정정비 전에는 일반세균, 총대장균군, 관정정비 후에는 일반세균만 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다(표 8-5). 승두2 관정과 마찬가지로 일반세균의 검출은 지상 토출시설의 문제일 가능성이 있으며, 따라서 농어업용 관정 튜브의 주기적인 세척이용 및 교체이용이 요구된다. 그리고 대장균의 불검출은 관정내부 벽면 물질의 세척이 잘 이루어졌음을 반증한다.

표 8-6. 당동 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과

분석항목	농어업용수 수질기준	먹는물 수질기준	당동 관정	
			이전	이후
pH	6.0 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	6.5	6.0
질산성질소	20 이하	10 이하	불검출	불검출
염소이온	250 이하	250 이하	87.7	96.2
카드뮴	0.01 이하	0.005 이하	불검출	불검출
비소	0.05 이하	0.01 이하	불검출	불검출
시안	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출
수은	0.001 이하	0.001 이하	불검출	불검출
유기인	0.0005 이하	-	불검출	불검출
페놀	0.005 이하	0.005 이하	불검출	불검출
납	0.1 이하	0.01 이하	불검출	불검출
6가크롬	0.05 이하	0.05 이하	불검출	불검출
TCE	0.03 이하	0.03 이하	불검출	불검출
PCE	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출
1.1.1-TCE	0.3 이하	0.1 이하	불검출	불검출
일반세균	-	100CFU/mL 이하	0	0
총대장균군	-	불검출	0	0
분원성대장균군	-	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소	-	0.5 이하	0.04	불검출
과망간산칼륨소비량	-	10 이하	0.4	0.3
철	-	0.3 이하	불검출	2.42
망간	-	0.3 이하	1.233	1.348
탁도	-	1NTU 이하	16.6	1.23
색도	-	5도	36	1

(3) 당동 관정

관정정비 이전의 수질분석결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없으며, 먹는물 수질기준 항목 중 망간, 탁도, 색도 항목이 부적합한 것으로 나타났다(표 8-6). 관정정비 이후 탁도와 색도 항목은 많이 개선되었지만, 망간 항목이 지속적으로 수질기준 이상으로 나타났으며, 철 항목 또한 수질기준 이상으로 증가하였다. 당진관정과 유사한 이유로 철과 망간의 농도가 지속적으로 검출되고, 질산성질소가 거의 검출되지 않는 것으로 볼 때, 당동관정 지하수 대수층은 환원환경에 속해있고, 따라서 환원환경에서 안정적인 물질이 과다 검출되는 것으로 추정된다. 당동 관정도 당진관정처럼 양수 후 짧은 기간 정치 후 지하수를 사용하게 되면 산화환경으로 변화되어 철과 망간 등이 침전되므로, 농어업용 지하수 이용에 별다른 문제를 일으키지는 않을 것으로 판단된다. 탁도 및 색도의 감소는 관정세척이 잘 이루어져 내부 물질이 제거되었음을 보여준다.

표 8-7. 상수6 및 제요1 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과

분석항목	농어업용수 수질기준	먹는물 수질기준	상수6 관정		제요1 관정	
			이전	이후	이전	이후
pH	6.0 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	6.2	6.4	6.6	7.1
질산성질소	20 이하	10 이하	1.2	1.4	1.8	2.4
염소이온	250 이하	250 이하	161	160	12	13
카드뮴	0.01 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
비소	0.05 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
시안	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
수은	0.001 이하	0.001 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
유기인	0.0005 이하	-	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
납	0.1 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬	0.05 이하	0.05 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
TCE	0.03 이하	0.03 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
PCE	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1.1-TCE	0.3 이하	0.1 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
일반세균	-	100CFU/mL 이하	7,400	3,000	12,000	2,300
총대장균군	-	불검출	검출	검출	검출	불검출
분원성대장균군	-	불검출	불검출	검출	검출	불검출
암모니아성질소	-	0.5 이하	0.01	0.02	불검출	불검출
과망간산칼륨소비량	-	10 이하	4.1	3.2	1.9	0.9
철	-	0.3 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
망간	-	0.3 이하	0.083	0.054	불검출	0.008
탁도	-	1NTU 이하	0.30	0.17	0.25	0.25
색도	-	5도	1	1	1	1

다. 에어써징 적용 시설

(1) 상수6 관정

관정정비 전·후 수질분석 결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없는 것으로 나타났다. 먹는물 수질 기준 항목 중 관정정비 이전에는 일반세균, 총대장균군, 관정정비 후 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군이 부적합한 것으로 분석되었다(표 8-7). 과망간산칼륨소비량이 다소 감소하고 탁도가 다소 개선된 것으로 나타나는데, 이는 관정내부 유기물 및 부유물이 다소 제거된 결과로 판단된다.

표 8-8. 해창1 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과

분석항목	농어업용수 수질기준	먹는물 수질기준	해창1 관정	
			이전	이후
pH	6.0 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	6.6	6.9
질산성질소	20 이하	10 이하	18.0	20.9
염소이온	250 이하	250 이하	44	44
카드뮴	0.01 이하	0.005 이하	불검출	불검출
비소	0.05 이하	0.01 이하	불검출	불검출
시안	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출
수은	0.001 이하	0.001 이하	불검출	불검출
유기인	0.0005 이하	-	불검출	불검출
페놀	0.005 이하	0.005 이하	불검출	불검출
납	0.1 이하	0.01 이하	불검출	불검출
6가크롬	0.05 이하	0.05 이하	불검출	불검출
TCE	0.03 이하	0.03 이하	불검출	불검출
PCE	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출
1.1.1-TCE	0.3 이하	0.1 이하	불검출	불검출
일반세균	-	100CFU/mL 이하	1,300	5
총대장균군	-	불검출	검출	검출
분원성대장균군	-	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소	-	0.5 이하	불검출	불검출
과망간산칼륨소비량	-	10 이하	1.3	0.9
철	-	0.3 이하	불검출	불검출
망간	-	0.3 이하	불검출	0.006
탁도	-	1NTU 이하	0.19	0.21
색도	-	5도	1	1

(2) 제요1 관정

관정정비 전·후 수질분석 결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없으며, 먹는물수질기준 항목 중 관정정비 전 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균, 관정정비 후에는 일반세균만 부적합한 것으로 분석되었다(표 8-7). 총대장균, 분원성대장균 등이 관정정비 후 불검출 되었는데, 이는 관정정비 후 공 내부 세척이 잘 이루어졌음을 지시한다.

(3) 해창1 관정

관정정비 이전 수질분석결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없으나, 관정정비 후 질산성질소가 수질기준을 초과하는 것으로 분석되었다. 먹는물수질기준 항목 중 관정정비 이전에는 일반세균, 총대장균군, 질산성질소, 관정정비 이후에는 질산성질소 및 일반세균이 부적합한 것으로 분석되었다(표 8-8). 질산성질소가 먹는물 수질기준을 지속적으로 초과하는 것으로 나타나, 관정 주변 축사 등 질산성질소를 배출하는 외부오염원에 대한 관리가 필요한 것으로 판단된다.

라. 브러싱 적용 시설

(1) 등원2 관정

관정정비 이 수질분석 결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없는 것으로 나타났다. 먹는물수질기준 항목 중 관정정비 이전에는 탁도 항목이 부적합한 것으로 나타났지만, 관정정비 이후에는 수질기준 이하로 분석되었다(표 8-9). 탁도항목의 감소는 내부 부유물질이 관정정비로 인해 제거되었음을 의미한다.

마. 워터제팅 적용 시설

(1) 선유1 관정

관정정비 이 수질분석 결과, 농어업용 수질기준을 초과하는 항목은 없었으며, 먹는물 수질기준 항목 중 망간 항목이 부적합한 것으로 나타났다. 관정정비 이후에도 망간 항목은 지속적으로 부적합으로 분석되었다(표 8-9). 당진 및 당동관정과 유사한 이유로 망간의 농도가 지속적으로 검출되는 이유는 지하수 대수층이 환원환경에 속해있기 때문이고, 따라서 양수 후 짧은 기간 정치 후 지하수를 사용하게 되면 산화환경으로 변화되어, 망간이 침전되므로, 농어업용 지하수 이용에 별다른 문제를 일으키지는 않을 것으로 판단된다.

표 8-9. 등원2 및 선유1 관정에 대한 관정정비 전·후 수질분석 결과

분석항목	농어업용수 수질기준	먹는물 수질기준	등원2 관정		선유1 관정	
			이전	이후	이전	이후
pH	6.0 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	6.7	6.7	6.4	6.4
질산성질소	20 이하	10 이하	0.4	0.6	0.3	0.2
염소이온	250 이하	250 이하	7.3	8.2	67.4	62.1
카드뮴	0.01 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
비소	0.05 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
시안	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
수은	0.001 이하	0.001 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
유기인	0.0005 이하	-	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005 이하	0.005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
납	0.1 이하	0.01 이하	0.009	불검출	불검출	불검출
6가크롬	0.05 이하	0.05 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
TCE	0.03 이하	0.03 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
PCE	0.01 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1.1-TCE	0.3 이하	0.1 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
일반세균	-	100CFU/mL 이하	0	0	0	0
총대장균군	-	불검출	0	0	0	0
분원성대장균군	-	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소	-	0.5 이하	불검출	불검출	불검출	불검출
과망간산칼륨소비량	-	10 이하	불검출	불검출	0.9	1.2
철	-	0.3 이하	0.27	0.07	불검출	불검출
망간	-	0.3 이하	0.255	0.175	2.923	3.305
탁도	-	1NTU 이하	2.77	0.28	0.39	0.22
색도	-	5도	1	1	1	1

제3절 토의 및 결론

12개 관정에 대한 관정정비 전·후 수질 개선 검토 결과, 대부분 탁도와 색도의 감소가 나타남에 따라, 내부 부유물질이 관정정비 공법의 종류와 상관없이 잘 제거된 것으로 나타났다. 또한 공내 유기물의 감소를 뜻하는 과망간산칼륨소비량의 감소 뚜렷하였다. 일부 관정에서 철과 망간이 관정정비 후에도 지속적으로 검출되는 이유는 대수층의 산화-환원상태와 관련이 있다. 대기와 직접 맞닿지 않는 환원상태 대수층 지하수는 양수 후 공기 중에 노출되면 산화상태로 변경되어, 철과 망간 등의 금속 물질은 자연스럽게 침전된다. 따라서 실제로 농어업용 지하수 이용에 별다른 문제를 일으키지는 않을 것으로 판단된다.

반면 대수층이 환원환경인 사유가 문제가 될 수가 있는데, 원래부터 대수층의 자연적인 조건이 환원환경이라면 이는 논의의 대상이 아니다. 다만 외부 유기물의 유입 또는 관정시설 이음부 등에 유기물이 누적되고 녹이 슬어 이를 분해하는 호기성미생물의 증식 및 분해 작용에 따라 지하수 내 산소가 모두 소모되어 환원환경이 조성될 경우는 관리상에 문제가 있다는 것을 의미한다. 이때는 관정세척 뿐만 아니라 관정시설물의 전반적인 개보수가 요구된다. 또한 분뇨 등 지표오염물질의 유입으로 대수층 내 분해미생물의 증식으로 대수층 내 환원 환경이 조성된 것이라면, 지상오염물질의 대수층 유입 차단에 대한 각별한 관리가 필요하다. 마지막으로, 일반 세균이 관정세척 후에도 꾸준히 검출되고, 몇몇 관정에서는 관정세척 후 오히려 콜로니 수가 증가한 것으로 나타났다. 이는 토출관과 연결된 튜브 등이 관정세척 전·후에 동일하게 사용되고, 적절히 세척되지 않아서 기존에 튜브 내에 서식하던 미생물들이 그대로 검출된 결과로 분석된다. 따라서 건전한 지하수 이용을 위해서는 관정시설물의 세척 뿐만 아니라 토출관과 연결된 튜브의 주기적 세척 또는 교체 등이 요구된다.

제9장 상시 관정정비 기술 개발

본 연구에서는 사용 중인 공공관정의 기능진단 및 정비공법별로 지하수 수량·수질 개선 결과를 정량적으로 평가할 수 있는 기술을 개발하였다. 이를 통하여 관정 유형 및 효율저하 원인에 따라 과학적이고 표준화된 기능진단 실시요령에 의거하여 개별관정의 특수성을 고려한 맞춤형 정비공법을 선택하였으며, 실제 관정에 적용한 후 개선효과를 정량적으로 평가하여 우물성능 개선에 대한 과학적인 결과를 도출하였다. 그러나 이러한 주기적인 관정정비(T_1, T_2, T_3, T_4)는 우물의 성능을 개선할 수 있지만 개발 당시의 효율까지 회복하는 것은 불가능하다(그림 9-1).

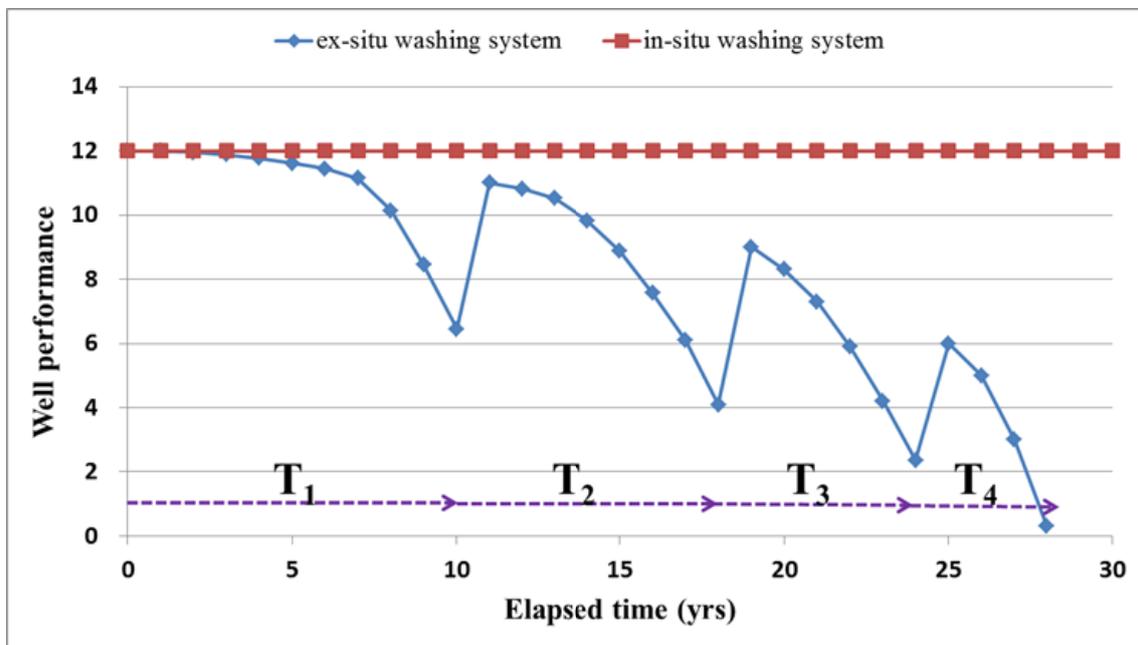


그림 9-1. 주기적 정비를 통한 관정 성능 유지 방안 개념도

따라서 관정개발 당시부터 관정 내에 상시적으로 관정 내부를 세척할 수 있는 장치를 설치하여, 관정 내부의 이용시설(수중모터펌프 등)의 인양없이 주기적인 압축공기 주입을 통한 세척을 하는 경우 장기간 우물의 성능을 최적화하여 유지할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 지하수법에 제시된 지하수위 측정관의 형태를 개조하여, 원위치 관정세척이 가능한 두 가지 기술을 개발하여 현재 특허 출원 중이다. 이를 통하여 상시 유지관리를 통한 선량한 공공관정의 상시 유지·관리 방안을 제시하였다.

제1절 원위치 지하수 관정 세척 시스템

1. 개요

본 시스템은 지하수 관정의 세척 기술에 관한 것이다. 간략하게 설명하자면, 지하수 관정 내에 관정 길이에 대응하는 길이를 가지면서 지하수 관정의 내부 전체에서 동일한 압력 및 유량으로 세척기체를 동시에 분사하는 세척부재를 고정 설치한다. 지하수 관정으로부터 수중모터 펌프를 인양하지 않고 장기간 방치된 지하수 관정의 내부와 지하수 관정 내 스크린 외부 측 여재(濾材)와 지하수 관정 주변의 대수층 내에서 발생하는 폐색(clogging) 유발 오염물질을 효율적으로 제거한다. 제거된 오염물질은 수중모터 펌프를 통해 바로 지상으로 배출시킨다. 이로써 우물효율 개선효과 확보를 위해 원위치에서 필요시마다 관정세척을 시행할 수 있다.

지금까지 사용되던 우물세척 기술은 수중모터 펌프를 인양한 후 물리적 및 화학적 방법을 이용하여 우물 내부 및 외측 여재를 폐색시키는 오염물질을 제거하는 방법을 이용한다. 또한 기존의 기술은 우물 내에 설치된 스크린 간격을 매우는 물때(scale) 제거를 위해 수 시간 단위로 우물세척을 진행함에 따라 우물수두손실 개선에 효과가 큰 것으로 알려져 있다. 그러나 관정 주변의 지하수 부존 및 통로 역할을 수행하는 주변 대수층에 대한 수두손실을 개선하는데 한계가 있다.

따라서 본 시스템은 지하수 관정내의 우물수두손실율과 대수층수두손실율을 동시에 개선하기 위하여, 지하수 관정 내에 설치된 지하수위 측정관을 개선하여 지하수 관정의 내부 전체에서 동일한 압력 및 유량으로 세척기체를 동시에 분사하는 세척부재로 활용한다. 이 기술을 사용하는 경우에는 장기간 방치된 지하수 관정의 내부는 물론, 지하수 관정에 마련되는 스크린 외부 측 여재와 지하수 관정 주변의 대수층 내에서 발생하는 폐색을 유발시키는 오염물질의 효율적 제거가 가능할 것으로 판단된다. 또한 지하수 관정의 세척을 위해 지하수 관정으로부터 수중모터 펌프를 인양하는 불편함을 없애고, 제거된 오염물질을 수중모터 펌프를 통해 바로 지상으로 배출시킬 수 있다. 따라서 지하수 관정 세척 시의 작업 효율성을 높일 수 있다.

2. 구성요소

본 시스템은 지상으로 연장되는 배출라인이 연결된 수중모터 펌프가 설치되는 지하수 관정 및 상기 지하수 관정의 길이에 대응되는 길이를 가지면서, 상기 지하수 관정의 내부에 고정 설치되는 세척부재를 포함하여 구성된다. 이때 세척부재는 지하수 관정의 내부에서 일정간격을 두고 배열되며, 지표면의 세척기체 공급부로부터 압축된 상태로 공급되는 세척기체의 흐름을 연결할 수 있는 다단의 연결관체 및 다단을 이루는 상기 연결관체들 사이에 연결된다. 또한 연결관체들로부터 연결되는 압축된 세척기체의 압력과 유량을 조절하면서 분사홀을 통해 동일한 압력 및 유량으로 세척기체를 지하수 관정의 내부에 분출시키는 다단의 분사관체를 포함하여 구성된다(그림 9-2).

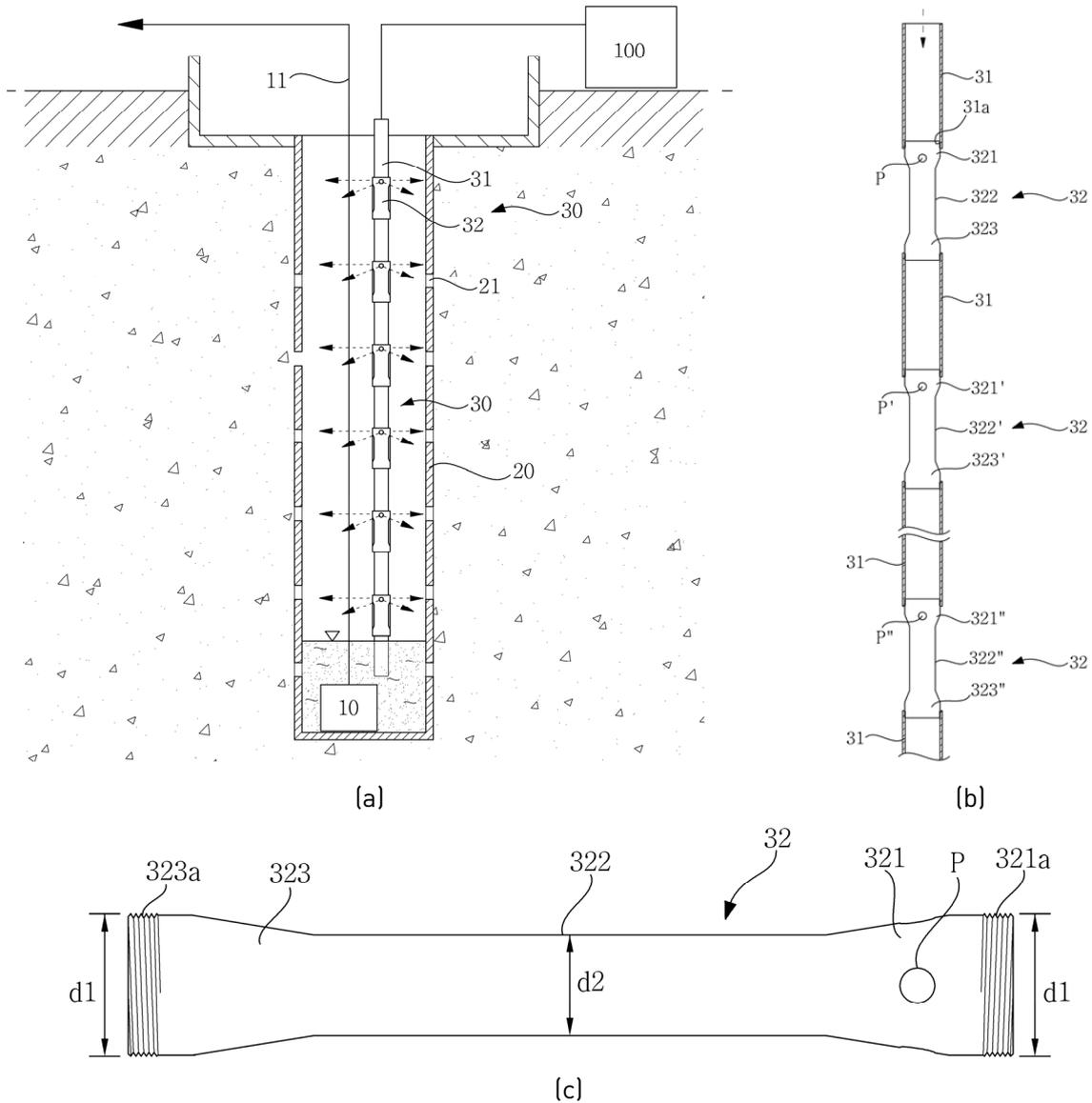


그림 9-2. 원위치 지하수 관정 세척 시스템 구성도(a), 세척부재 개념도(b) 및 분사관체 단면도(c)

지하수 관정의 세척방법은, (a) 지하수 관정의 내부에 고정 설치되는 세척부재의 연결관체에 세척기체 공급부를 연결하는 공정, (b) (a)공정으로부터 세척기체 공급부에서 기체를 압축한 후 이를 세척부재에 공급 시, 상기 세척부재에 포함되는 연결관체와 분사관체에서 세척기체의 흐름을 제어하여 상기 세척기체의 압력과 유량이 일정하게 유지되도록 하는 공정, (c) (b)공정으로부터 압력과 유량이 일정하게 유지되는 세척기체를 지하수 관정의 내부 전체에 분출시켜, 상기 지하수 관정의 내부는 물론, 지하수 관정에 마련되는 스크린 외부 측 여재와 지하수 관정 주변의 대수층 내에서 발생하는 폐색 유발의 오염물질을 제거하는 공정 및 (d) (c)공정으로부터 제거되는 오염물질이 지하수 관정내의 하단측에 쌓일 때 수중모터 펌프를 가동하여, 상기 오염물질을 배출라인을 통해 지상으로 배출시키는 공정을 포함한다(그림 9-3).

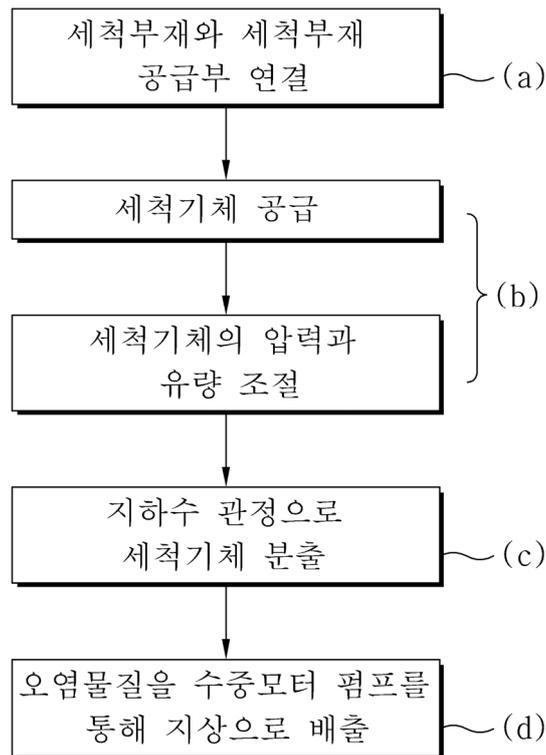


그림 9-3. 원위치 지하수 관정 세척 시스템을 이용한 세척방법

3. 기대효과

본 시스템은 지하수 관정의 세척을 위해 관정으로부터 수중모터 펌프를 인양하는 불편함을 없애고, 제거된 오염물질을 수중모터 펌프를 통해 바로 지상으로 배출시킬 수 있어 관정 세척시의 작업 효율성을 높일 수 있다. 또한 지상의 세척기체 공급부의 연결 작업만으로 관정에 대한 세척 작업이 보다 간편하게 이루어질 수 있도록 하면서, 유지·관리 및 보수의 편의성을 높이는 효과를 기대할 수 있다.

제2절 원위치 수두 연동형 관정 세척 장치

1. 개요

본 세척 장치는 관정 세척 기술에 관한 것으로, 1차적으로 관정 내부로 투입 설치되는 지하수위 측정관에 세척공을 형성한 후 그 세척공의 상하부에 각각 패커(packer)를 설치하여 하나의 세척실을 형성토록 설치한다. 2차적으로는 세척실로 일정량의 세척용 유체가 투입되는 경우, 세척실로 투입되는 유체의 압력(P)과 유량(Q)을 지하수 수위의 변화량에 따라 가변적으로 조절토록 수두 측정 시스템을 연결시킨다. 마지막으로 지하수 관정 내에서 지하수 유입이 이루어지는 스크린 구간과 수중모터 펌프의 설치 구간 사이의 지하수 관정 내부에 대한 세척 효율을 극대화시킬 수 있도록 하는 원위치 수두 연동형(head-driven) 우물 세척 장치를 연결시키는 장치이다.

2. 구성요소

본 세척 장치는 지하수 유입을 위한 다단의 스크린으로 구성된 지하수 관정에 대하여 지하수 관정의 길이에 대응되는 길이를 가지며, 외주면으로 세척기체를 분사하기 위한 다단의 세척공을 형성시킨 지하수위 측정공을 이용한다. 이때 지하수위 측정공 내부에 세척공을 통해 관정으로 세척기체를 분사하기 위한 세척실을 형성하도록 측정공 내부측 상하단에 각각 형성되는 패커를 설치할 수 있도록 구성되며, 관정 내의 지하수위를 측정하기 위한 수두 측정 장치를 설치한다. 또한 측정공 내의 패커 사이의 세척실에 고압의 질소기체 공급라인이 연결되고, 세척공을 통해 관정 내부로 분사되는 세척기체의 압력과 유량이 일정하게 유지되도록 수두 측정 장치에서 측정되는 수두 변화량에 연동시켜 세척실의 내부로 압력과 유량이 조절되는 세척기체를 공급하게 되는 세척공급부로 구성된다(그림 9-4).

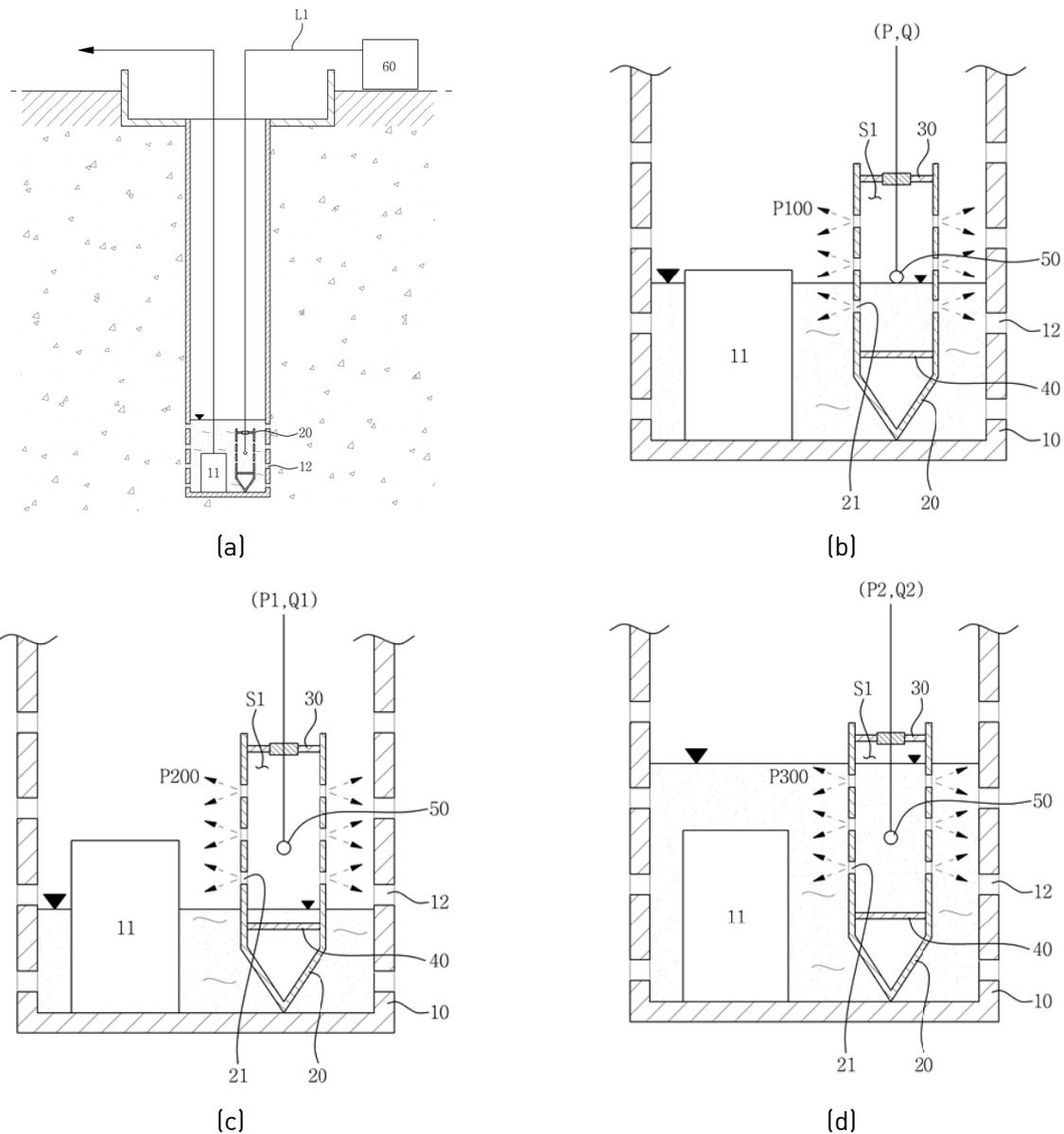


그림 9-4. 원위치 수두 연동형 관정 세척 장치 구성도(a), 지하수위 측정공을 통한 질소기체 분사 방식 개념도: 기준수위 시(b), 기준수위보다 낮은 경우(c), 기준수위보다 높은 경우(d)

본 세척 장치의 우물 세척 방법은, (a) 지하수 관정의 내부에 고정 설치되는 지하수위 측정관으로부터 수두측정부가 수두를 측정하는 단계, (b) (a)단계로부터 측정되는 수두 측정으로부터 세척공급부는 관정 내의 지하수위가 기준수위 또는 기준 수위보다 높거나 낮은지를 판단하는 단계, (c) (b)단계의 판단 결과로부터 세척공급부는 지하수위의 변화량으로부터 세척기체의 압력과 유량을 조절한 후 이를 지하수위 측정관의 세척실에 공급하여, 압력과 유량이 조절된 고압의 질소기체를 세척공을 통해 분사시켜 관정 내의 스크린을 세척하는 단계 및 (d) (c)단계로부터 세척을 통해 제거되는 오염물질이 지하수 관정내의 하단측에 쌓일 때 수중모터 펌프를 가동하여 오염물질을 배출라인을 통해 지상으로 배출시키는 단계를 포함한다(그림 9-5).

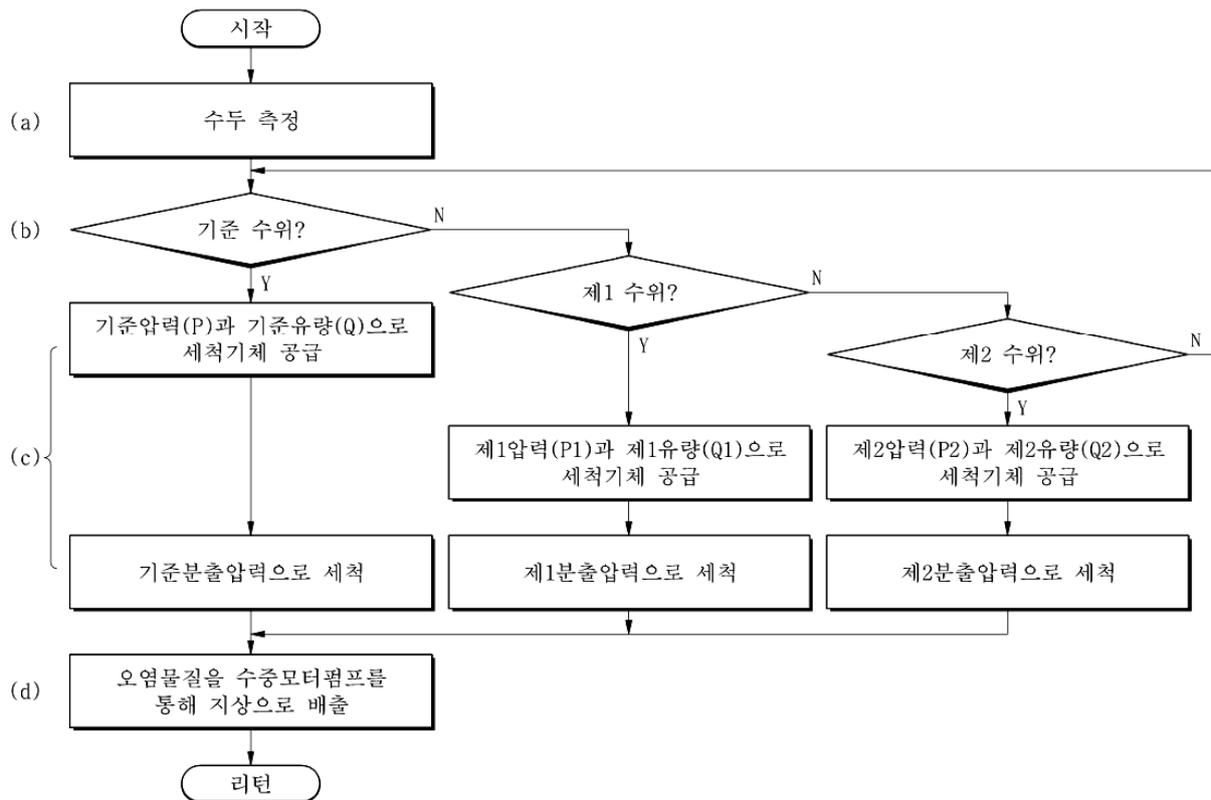


그림 9-5. 원위치 수두 연동형 관정 세척 장치를 이용한 세척방법

3. 기대효과

본 세척 장치는 관정의 내부로 투입 설치되는 지하수위 측정관에 세척공을 형성한 후 그 세척공의 상하부에 각각 패커를 설치하여 하나의 세척실을 형성한 상태에서, 세척실로 투입되는 세척용 유체의 압력(P)과 유량(Q)을 지하수 수위의 변화량에 따라 가변적으로 자동 조절하도록 구성된다. 이를 통해 관정 내에서 지하수 유입이 이루어지는 스크린 구간과 수중모터 펌프의 설치 구간 사이의 관정 내부에 대한 세척 효율 극대화가 가능하며, 농어업용 관정과 같이 간헐적으로 사용하는 관정의 경우 정기적으로 관정 내에 설치된 스크린이 폐색되는 것을 방지함에 따라 관정으로의 지하수 유입이 원활하게 이루어지는 효과가 기대된다.

제10장 공공관정 정비사업 체계화 방안

제1절 필요성

농업생산기반시설 관리규정(농림축산식품부 훈령 제142호, 개정 2014년 7월 25일)에 의하면, 국내 농업생산기반시설은 크게 1, 2, 3종 시설물로 구분된다. 이 가운데 공공관정은 3종 시설로 구분되며, 한국농어촌공사와 시·군 지자체(농업기반부서)로 이원화되어 관리·운영 중이다. 농업생산기반시설이 노후되었거나 기능을 상실하는 경우, 이를 개량·보수하여 재해위험을 해소하고 기능을 회복시키거나 개선하는 작업을「개보수」라고 한다. 한국농어촌공사에서 관리하는 공공관정의 개보수 비용은 전액 국고, 유지관리비는 국고 및 자체사업비로 충당된다. 반면, 시·군 지자체 공공관정은 개보수 및 유지관리 비용을 시·군비로 충당함에 따라 예산부족에 따른 관리부실이 빈번하게 발생한다. 농어업용 공공관정 일제조사(06)시, 약 17%에 해당하는 공공관정이 정비 필요 대상관정으로 선정되었고, 농어업용 공공관정(약 26,000공) 중 10년 이상된 시설이 80%(약 21,000공) 이상으로 시간이 지날수록 노후화되어 주기적인 사후관리를 통해 성능 개선이 요구된다.

이와 같이 시·군 지자체에서 관리 중인 대부분의 공공관정은, 관리 인력 부족으로 마을단위 작목반에 운영을 일임하고 있다. 따라서 점검·정비에 대한 전문기술 부족으로 체계적인 관리가 이루어지지 못함에 따라, 관정 등 시설물에 문제가 발생하였을 경우에는 사실상 방치되는 경우도 발생한다. 또한 대부분의 시·군 지자체 농어업용 공공관정은 농업기반시설 등록·관리·검증체계 미흡으로 통계연보 자료관리도 불충분하며, 지하수법 상 사후관리 및 연장허가 등 관련 법·규정이 이행되지 않는 관정도 많다.

따라서 인력, 예산부족 및 전문기술 부족의 문제를 해결하고 건전한 관정시설물 유지관리 및 이용을 위해서는, 시·군 지자체 관정의 지하수조사전문기관으로 위탁관리에 대한 적극적인 모색이 요구된다. 지하수조사전문기관으로 위탁관리를 통해 상시 건전한 관정 시설물 관리, 지하수 수량·수질 문제에 대한 즉시 해결, 추가개발 예산 절감, 가뭄 등 기후변화 대비 상시 수자원 확보 및 수요자(농어민)에 대한 지하수자원의 선량한 공급을 위해서는, 공공관정 위탁관리를 통한 지하수자원 관리의 필요성은 매우 큰 것으로 판단된다.

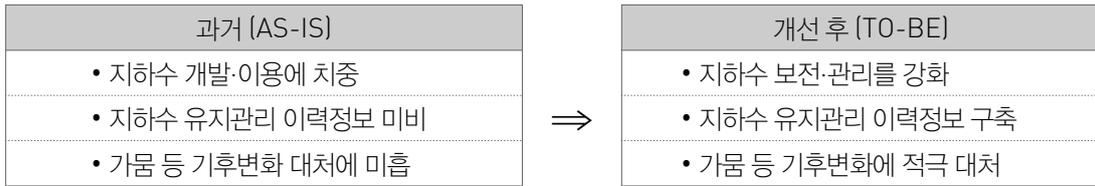
제2절 정비사업 체계화 방안

1. 지하수조사전문기관 위탁관리

시·군 지자체 공공관정의 효율적인 유지관리, 나아가 지하수조사전문기관 위탁관리를 위해서는 시·군 지자체 담당공무원과 위탁기관(지하수조사전문기관) 사이의 협업이 가장 우선적으로 요구된다. 이를 위해서는 관정 정보에 대한 투명한 정보공유가 필요하며, 오프라인과 함께 온라인으로도 이루어져야 할 필요가 있다.

지하수조사전문기관 중 하나인 한국농어촌공사의 경우에는 농어업용 공공관정 최적관리를 위해, 시·군 지자체 담당공무원과 전문기술을 지닌 직원간의 상호협력이 상시 가능하도록 농어촌지하수 웹사이트(농어촌지하수넷, www.groundwater.or.kr)를 운영 중이다. 이 사이트에서는 시·군 지자체 관리 공공관정 내역을 일괄 파악할 수 있도록 담당공무원에게 접근권한을 부여하여, 시·군 지자체에서 관리하는 관정의 개발현황과 정비내역 등을 지자체 담당공무원으로 하여금 자율적으로 입력할 수 있도록 하고 있다. 이를 통하여 영향조사, 사후관리 및 수질검사 주기 등에 대한 정보를 시·군 지자체와 위탁기관이 상시 공유토록 하며, 관정 보수·정비 시기 등을 적시에 시행할 수 있는 기능을 제공한다. 따라서 시·군 지자체 공무원의 공공관정에 대한 관리상 편의를 제공받고, 위탁기관은 입력정보를 토대로 주기적인 점검정비와 사후관리를 시행한다면 선량한 시설물 이용이 지속될 수 있을 것으로 기대된다.

이에 대한 실례로, 한국농어촌공사 경남지역본부(2015)에서는 공공관정에 대한 제원, 정비이력, 고장수리 및 사후관리 시 적정 용량의 수중모터펌프 준비 등 사후관리에 필요한 대응 시간 단축을 위하여, 공공관정 이력자료에 대한 정보화 자료를 구축하여 운영 중이다. 이를 위하여 공공관정에 QR(Quick Response) 코드를 도입하여, 스마트폰 이용자라면 누구나 간편하게 시·군 지자체 공공관정 제원 및 점검이력, 사후관리, 영향조사 등 유지관리 이력 조회가 가능하도록 하였다(그림 10-1). 이에 따라, 관정정비, 영향조사, 수질검사 등 공공관정 시설물 이력의 실시간 입력 관리와 이용량 모니터링 결과 등의 자료 관리가 QR코드로 통합 운영이 가능해짐에 따라, 시설물 정비 시 이력 확인을 통해 정비기간 단축 등 대농어민 만족도를 제고할 수 있다. 이를 통해 장기적으로는 선량한 공공관정의 상시 유지·관리와, 지하수자원의 효율적인 관리체계를 구축할 수 있을 것으로 기대된다.



(a)

(b)

그림 10-1. QR코드 이용 전후의 비교(a) 및 유지관리 사례(b)(출처: 한국농어촌공사 경남지역본부)

이러한 실제 사례를 비롯하여 향후 공공관정 등 지하수 정보와 저수지·양수장 등 지표수 정보 등을 연계시켜 용수구역 수자원 현황을 통합적으로 관리할 수 있는 시스템이 구축된다면, 상호협력을 통해 지하수를 비롯한 농어업용수 이용의 효율성 증대에 크게 기여할 것으로 기대된다.

2. 시·군 지자체 공공관정 편입

시·군 지자체에서 관리중인 공공관정을 지하수법에서 지정한 지하수조사전문기관으로 편입하여 관리하는 방안도 고려할 수 있다. 이를 위해서는 대부분의 사회기반시설사업과 같이 일정기준에 따라 시·군 지자체와 지하수조사전문기관 사이에 관리구역을 분담하고, 편입을 희망하는 시·군부터 단계적으로 추진을 시행하여야 한다(그림 10-2). 편입대상 시·군 공공관정에 대해서는 우선적으로 편입여건 현장조사(편입방식, 관리여건, 시설 및 구역여건 등)를 추진토록 한다. 편입시설 중 노후되거나 용량부족 관정은 지하수조사전문기관의 판단 하에 연차별 개보수사업에서 우선 지정하고 보수·보강을 추진한다. 이 가운데 수명이 다되었다고 판단

되는 관정에 대해서는 폐공 및 대체개발 등을 추진한다. 대체개발에 소요되는 예산은 농특회계 및 지특회계로 추진한다.

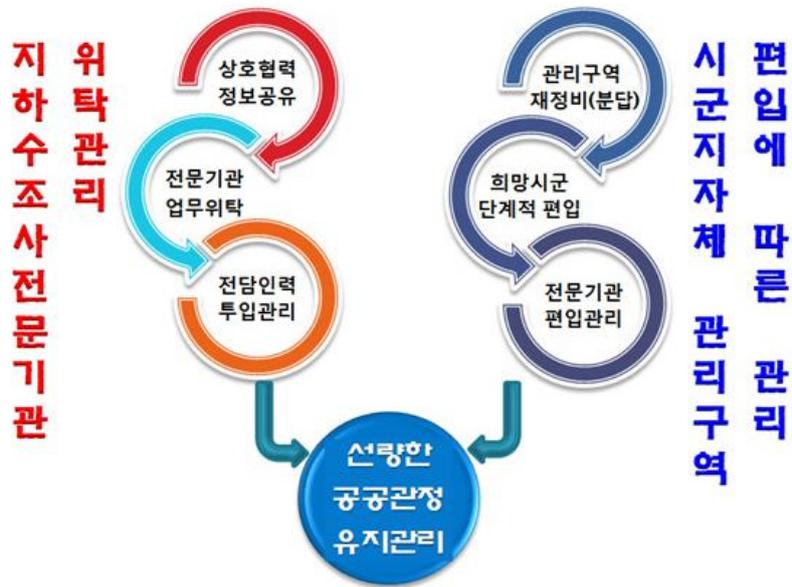


그림 10-2. 공공관정 정비사업 체계화 방안

제3절 업무 내역

공공관정 시설정비를 위한 내역을 정리하면, 「진단」, 「정비」, 「보수」로 정리하여 구분할 수 있다(그림 10-3). 「진단」이란 시설 및 현황조사, 보수계획 및 이용계획 수립, 그리고 정보화 등에 소요되는 작업을 일컫는다. 「정비」란 시설물보수에 속하지 않는 장애 원인 파악과 시설물 기능유지를 위한 간단한 정비를 일컫는다. 「보수」란 수중모터 등 주요시설 교체, 방치공처리 등 진단정비 결과에 따라 시행하는 작업을 일컬으며, 지하수법에 따른 사후관리, 수질검사, 연장허가 위한 재영향조사도 포함한다.



그림 10-3. 공공관정 정비사업 체계화 업무 세부 내역 및 사업비(안)

진단 및 정비를 위한 기간은 연중 상시라고 볼 수 있으며, 보수 기간은 시설원예를 제외한 대부분의 농경지가 휴경에 들어가는 전년도 10월부터 당해년도 4월까지가 최적 기간이다. 따라서 진단 및 정비 기간은 연중 가능하며, 부실한 관정시설물에 대해서는 영농기 이전에 전문인력의 투입 하에 보수가 가능하다. 세부적으로는 진단 및 정비 기간 동안 공공관정의 작동 여부, 급수 능력을 점검하고, 필요 시 수중모터펌프 교체 및 사후관리(공내세척) 여부 등을 결정한다. 보수 기간 동안에는 앞서 제시된 다양한 방법을 이용하여 과학적인 사후관리를 실시한다. 즉 관정세정 작업 전·후 수량 및 수질평가를 시행하여 매해마다 관정이용에 따른 시설물의 노후화 및 사후관리 개선정도를 확인하고, 개별 관정의 향후 기대수명 및 지속적인 이용가능성 등을 파악한다.

공공관정 정비사업 체계화를 통해 지하수조사전문기관이 시·군 지자체 공공관정의 관리가 가능하다면, 지하수조사전문기관의 업무책임 하에 진단 및 정비 기간 동안 소요되는 사업비는 위탁기관에 의하여 국고(민간자본보조)로 추진하며, 보수 기간 동안 소요되는 사업비와 및 지하수법 이행사항(영향조사, 사후관리, 수질검사)에 소요되는 사업비는 지자체 예산으로 추진하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이러한 농어업용 공공관정의 시설 점검 및 보수·보강을 통해 연간 150백만 m^3 (4,200공 신규개발비 2,100억원 절감)의 추가용수 확보 효과가 예상된다.

제4절 이용목적별 체계화

1. 한발대비 공공관정

우리나라의 전체 논 면적 964천 ha 중 19.4%인 187천 ha는 수리시설이 정비되지 않아 자연강수에 의존하는 전형적인 천수답이다. 따라서 기후변화에 따른 가뭄에 취약함에 따라 가뭄을 대비한 사전 급수대책이 필수적이지만, 대부분의 경우 가뭄이 발생한 후 관정 개발을 시작함에 따라 가뭄종료 후에 대부분의 농업기반시설물이 준공되어 실제 가뭄 발생시기에는 용수공급이 어려운 경우가 많다. 또한 긴급 관정개발에 따른 난개발로 지하수 고갈 및 폐공이 양산되기도 한다. 개발 후에도 시·군 지자체에서 관정 유지관리, 점검·정비에 대한 별도의 예산 확보가 어려워 관정 시설물은 급속하게 노후화되기도 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 위탁관리를 통해, 가뭄발생 전에 기후변화 예측을 통한 선제적인 관정 시설 개발 및 선제적인 관정성능 유지·개선으로 가뭄발생 시 적기에 용수공급을 할 필요가 있다(그림 10-4). 특히 상습 가뭄발생 지역의 경우에는 공공관정 개발 등 용수급수시설 설치계획 수립을 하여야 한다. 또한 관정 관리 실태조사 및 점검·정비에 대한 국고지원으로 적기에 용수를 공급하며, 농어촌지하수넷 등을 활용하여 관정에 대한 종합적인 유지·관리가 필요하다. 세부적으로는 농림축산식품부에서 계획·시행하는 농어촌용수이용합리화계획(2015~2024)과 지하수자원관리사업 성과 등을 활용하여, 지하수 수요량 대비 수리시설이 없거나 부족한 상습 가뭄발생 지역을 우선 파악토록 한다. 이러한 우선순위를 바탕으로 연차별 공공관정 등 개발 추진이 필요하다. 노후 지하수 공공관정에 대하여는 진단, 정비, 보수 과정을 거쳐 빈발하는 가뭄에 적기 대처하도록 한다. 이를 통해 농어민 소득향상 및 영농편의를 제공할 수 있고, 농어촌정비법, 지하수법 등 관련 법규 준수를 통한 선량한 시설물관리 도모할 수 있으며, 가뭄피해를 최소화할 수 있도록 한다.

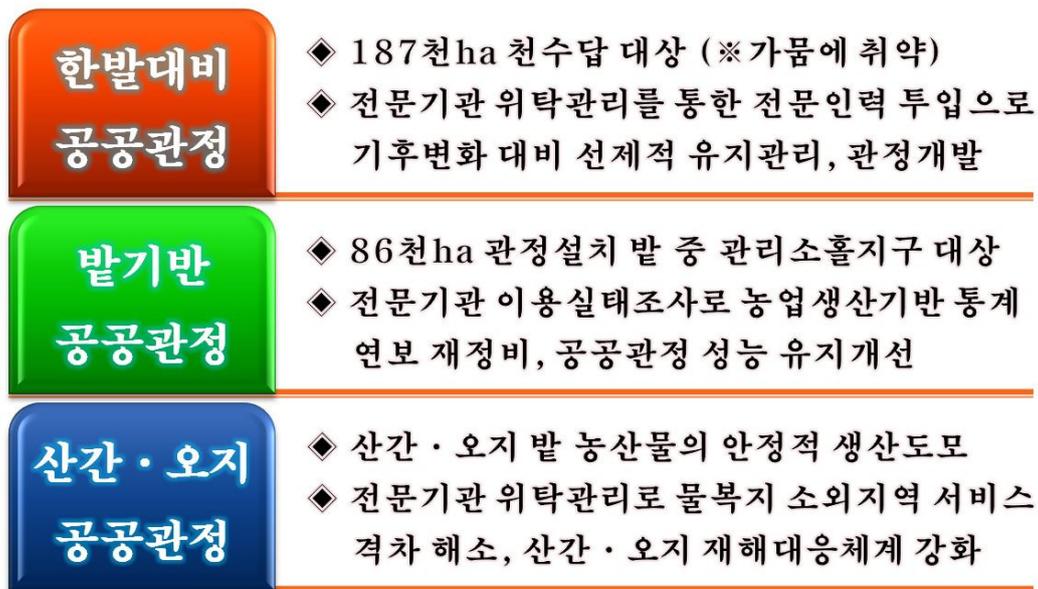


그림 10-4. 이용목적별 공공관정 정비사업 체계화를 통한 유지관리 세부내역

2. 밭기반 공공관정

우리나라 밭 농업 지역 중에서 용수공급시설을 갖춘 관개 밭은 140천 ha로 전국 밭 면적의 18.5% 수준(15.7월 행정조사)으로, 논 농업 지역에 비해 용수 공급 능력이 열악한 실정이다. 밭 용수는 공사기간 및 사업비의 제약 등으로 인해, 주로 관정시설을 이용하여 용수를 공급 중이다. 세부적으로는 관개 밭 면적 140천 ha 가운데 관정을 이용한 용수공급 면적은 86천 ha(61%)로서 가장 많고, 저수지 20%, 보 9%, 기타 10%의 용수가 밭에 공급된다. 그러나 공공관정을 이용한 밭 용수 공급의 경우, 관정 가동에 따른 전기료 부담 등으로 인해 농어민이 부담을 느끼는 경우가 많아 관정에 대한 관리 소홀로 이어져 노후화의 진행이 빠르다. 또한 밭 지역은 용수 시설 및 공급현황에 대한 체계적인 파악·관리가 미흡하다.

따라서 시·군 지자체에서는 지하수조사전문기관에 업무를 위탁하여, 전국 공공 밭 용수원 시설 및 급수구역 현황에 대한 일제조사로 문제점을 개선하는 것이 필요하다. 이때 위탁기관은 관정의 제원, 급수구역도 등을 수집·정리하고, 조사된 자료를 이용하여 농업기반시설 등록부 및 농업생산기반통계연보 재정비(밭지역 생산기반정비사업 현황 보완)를 통하여 공공관정 성능 유지·개선 및 논·밭을 포함한 통합 용수관리시스템 구축으로 체계적 관리 방안을 수립하여야 한다. 즉 전국 공공관정 등 밭 용수원 시설 일제조사, 리모델링 및 통합관리시스템을 구축을 통하여, 밭 지역 용수공급실태에 대한 신뢰성 있는 자료를 구축한다. 이로써 공공관정에 대한 정부통계자료의 신뢰도를 회복하며, 통합관리시스템을 통해 가뭄피해에 선제적 대응 및 신속한 응급조치 가능하도록 할 필요가 있다.

3. 산간·오지 공공관정

우리나라 산간·오지 지역은 밭 농업을 중심으로 한 농경이 주로 이루어지는데, 이러한 산간·오지 지역일수록 기 설치된 공공관정을 활용하여 적은투자로 효과적인 대응이 가능하다. 더불어 건전한 지하수 시설물 관리로 상시 용수 공급이 가능한 경우에는, 적은 규모의 가뭄에도 변동폭이 큰 밭 재배 농산물의 가격안정에 기여할 수 있다. 또한 항구적 청정지하수 공급체계 구축으로, 물 복지 소외 농어민에게 지역 간 서비스 격차해소 등 고품질의 동일한 용수서비스를 제공할 수 있다.

이러한 산간·오지 공공관정에 대하여 위탁관리가 실현된다면, 시·군 지자체 및 한국농어촌공사 관리구역 간 서비스 격차, 비용부담의 불공평을 해소할 수 있으며, 가뭄 변동성을 포함한 기후변화 대응 등 재해에 대한 대응체계를 한층 더 강화할 수 있다. 나아가 용수이용 합리화 달성 등 합리적 농지자원 관리가 가능할 것으로 기대된다.

제11장 공공관정 정비 표준지침서

제1절 개요

1. 목적

본 표준지침서(매뉴얼)는 농어촌정비법 제18조 「농업생산기반시설의 관리」 및 동법 시행령 제26조 「농업생산기반시설의 안전관리」, 지하수법 제9조의5 「지하수개발·이용시설의 사후관리 등」 및 동법 시행령 제14조의4 「지하수개발·이용시설의 사후관리 등」, 농업생산기반시설관리규정(농림축산식품부 훈령 제142호, 2014. 7.25)에 따른 지하수시설물(이하 공공관정)의 정비에 있어, 객관적이고 정량적인 상태평가방법 및 우물효율 개선능 확인방법을 제시함으로써 관정 사후관리의 과학적인 해석과 신뢰도를 제고함을 목적으로 한다(표 11-1). 이를 통해, 수량 확보, 수질오염/재해 예방 등 공공관정의 효율을 증진시켜 지하수를 안정적으로 공급함으로써, 합리적인 지하수자원의 개발·이용을 도모하고자 한다. 또한 최종적으로 농어업인의 생산성 향상과 농어촌생활환경 개선에 기여하고자 한다.

표 11-1. 농어업용 공공관정 정비(사후관리)의 법적 시행근거

법	조문	내용
농어촌 정비법	(법 제18조) 농업생산기반 시설의 관리	[전략] ② 농업생산기반시설관리자는 농업생산기반시설의 정비, 시설물의 개수·보수 등의 조치를 하여야 하고, 제1항의 안전관리계획에 따라 안전점검과 정밀안전진단을 하여야 한다.
	(시행령 제26조) 농업생산기반 시설의 안전관리	[후략] [전략] ⑦ 제1항부터 제5항까지의 규정에 따른 시설관리계획의 수립, 안전점검 및 시설물의 정비 등에 필요한 사항은 농림축산식품부장관이 정한다. [후략]
지하수법	(법 제9조의5) 지하수개발·이용시설의 사후관리 등	① 이 법 또는 다른 법률에 따른 허가·인가 등을 받거나 신고를 하고 지하수를 개발·이용하는 재(이하 “지하수개발·이용자”라 한다)는 지하수 수질보전 등을 위하여 지하수개발·이용시설의 정비 등 사후관리를 하여야 한다. ② 지하수개발·이용자가 제1항에 따른 사후관리를 이행하려는 때에는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 시장·군수·구청장에게 신고하여야 한다. 해당 행위를 종료한 때에도 또한 같다.
	(시행령 제14조의4) 지하수개발·이용시설의 사후관리 등	[후략] ① 법 제9조의5제1항에 따른 사후관리는 지하수개발·이용시설의 청소와 검사 및 정비로 한다. [중략] ④ 법 제9조의5제4항에 따른 사후관리 대상 시설의 규모 및 용도는 다음 각 호와 같으며, 검사주기는 2년으로 한다. 다만, 제4호에 해당하는 시설의 검사주기는 5년으로 한다.

표 11-1. 농어업용 공공관정 정비(사후관리)의 법적 시행근거 (계속)

법	조문	내용
지하수법	[시행령 제14조의4] 지하수개발·이용시설의 사후관리 등	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전쟁이나 그 밖의 비상사태 발생에 대비하여 국가 또는 지방자치단체가 비상급수용으로 지하수를 개발·이용하는 시설 중 1일 양수능력이 100톤을 초과하는 시설 2. 제19조제1항에 따른 공공급수용 지하수개발·이용시설 중 1일 양수능력이 100톤을 초과하는 시설 3. 법 또는 다른 법률에 따른 허가·인가 등을 받거나 신고를 하고 지하수를 개발·이용하는 시설 중 1일 양수능력이 100톤을 초과하는 경우로서 국토교통부령으로 정하는 다중이용 지하수개발·이용시설 4. 법 제7조제1항 또는 제8조제2항 단서에 따라 허가를 받은 지하수개발·이용시설 중 제2호에 해당하는 시설, 제3호에 해당하는 시설 및 지열냉난방시설을 제외한 시설 (후략)

2. 적용 범위

본 표준지침서는 제3종 농업생산기반시설 중 지하수 공공관정을 대상으로 한다. 공공관정 중 노후화된 관정과 제 기능을 다하지 못하는 시설을 대상으로, 기능을 회복시키거나 개선하는 것을 목적으로 한다. (표 11-1)의 관련법에 의하면, 농어업용 공공관정은 1일 양수능력이 150m³을 초과하는 관정에 대하여 매 5년마다 주기적인 사후관리를 실시하여야 한다. 따라서 본 장에서의 주된 대상은 전술한 1일 양수능력 150m³을 초과하는 농어업용 공공관정이며, 150m³/일 미만의 관정도 수량부족 및 수질불량 등의 문제가 발생했을 경우 이 표준지침서를 적용할 수 있다.

제2절 정비 및 평가 방법

농어업용 공공관정에 대한 정비는 3단계(점검정비 이전 수량·수질 평가, 점검정비(사후관리), 점검정비 이후 수량·수질 평가)로 나뉘어져 시행된다(그림 11-1).



그림 11-1. 농어업용 공공관정 정비 및 평가방법

이때 점검정비 이전과 이후의 시험내역(대수성 시험, 수질검사, 수중TV 검층 공종)과 각 세부공종마다의 시험방법(시험시간, 분석항목, 검층 깊이 등)은 동일해야 한다. 이렇게 동일한 공종을 수행해야만 점검정비(사후관리) 이전과 이후에, 동일공종에서의 차이점(우물효율 개선 여부, 수질개선 여부, 관정 내 잔존물 제거 여부 등)을 정량적으로 평가할 수 있다. 점검정비(사후관리) 방법은 각 관정의 특이적인 상황을 고려하여 관정맞춤형 기술을 도입하되, 적용 시에는 충분한 시간동안 시행되어야 한다.

그리고 양수능력 150m³/일을 초과하는 공공관정에 대해서는, 관정 점검정비 전·후 시·군 지자체 지하수 담당부서에 관련서식을 작성하여 제출하여야 한다(그림 11-2). 즉, 사후관리 시행 이전에「사후관리이행 신고서」를 제출하고, 시군지자체로부터「사후관리이행 신고증」을 수령해야 한다. 사후관리가 시행 완료되면「사후관리 이행종료 신고서」를 제출하고, 마찬가지로 시군지자체로부터「사후관리이행종료 신고증」을 수령해야 한다.

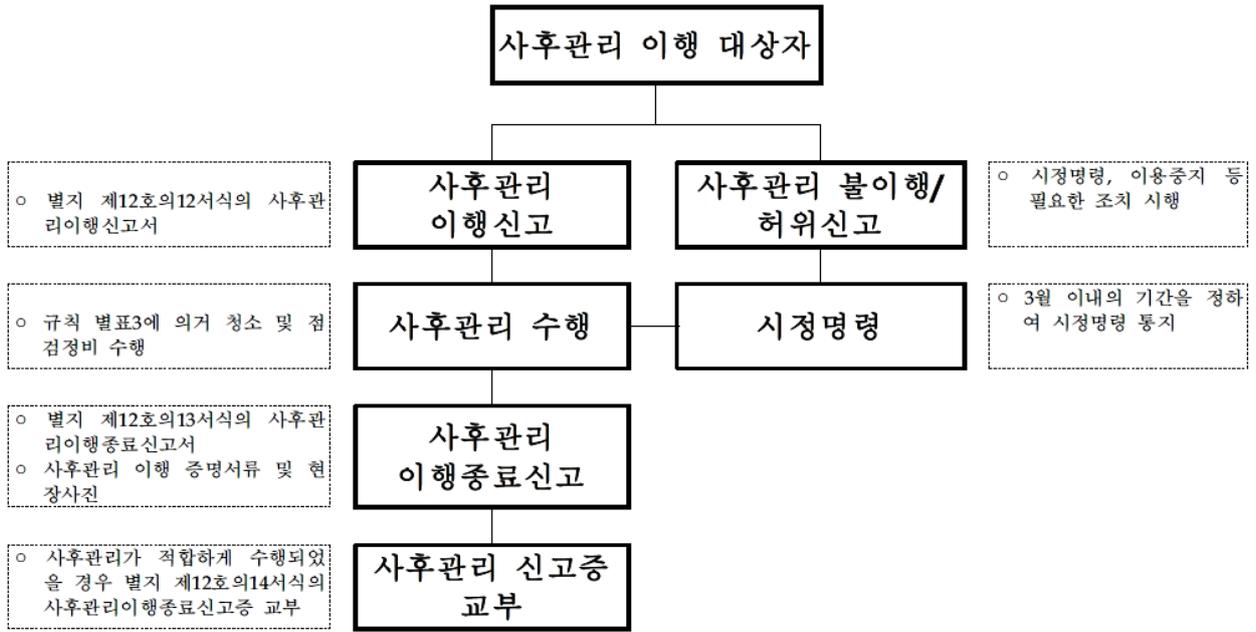


그림 11-2. 법적 이행사항 흐름도(출처: 지하수업무수행지침, 국토교통부)

1. 점검정비 이전 평가 방법

공공관정 점검정비(사후관리) 이전 평가 방법은 양수시설 인양 전 대수성 시험(단계 및 장기양수시험), 양수시설 인양 전 수질검사, 양수시설 인양, 우물세척 작업 전 수중TV 검층, 그리고 우물세척 전 소독제 투여의 순서로 진행된다.

가. 양수시설 인양 전 대수성 시험

양수시설 인양 전 대수성 시험은 가장 최근에 선행된 점검정비(사후관리) 작업 이후(선행된 점검정비가 한번도 없었다면 관정 개발 이후) 지하수 수량 저하를 평가하기 위하여 시행된다. 대수성 시험은 현재 상태의 지하수 시설물을 훼손하지 않은 상태에서 시행되며, 단계양수시험 및 장기양수시험으로 구분하여 시행된다. 이러한 대수성 시험으로 현재 상태 관정의 우물효율, 투수량 계수 등을 산출할 수 있다. 대수성 시험의 세부적인 시행 방법은 <그림 11-3>과 같다.

- ① 양수시설 인양 전 관정의 지하수 시설물을 이용하여 시험을 실시한다.
- ② 대수성 시험은 단계양수시험과 장기양수시험으로 구분하여 실시한다.
- ③ 단계양수시험은 4~5단계로 구분하여 동일한 양수량 증가분을 증가시키며 진행하며, 매 단계 당 2시간 이상 동일한 시간 간격으로 시행한다.
- ④ 단계양수시험은 매 단계마다 2시간 이상 실시하며, 각 단계별로 동일한 시간 간격으로 시행한다.
- ⑤ 장기양수시험은 관정의 최대수량으로 16시간 이상 시행한다.
- ⑥ 단계 및 장기양수시험 시, 토출유량 조절은 주파수변조기를 이용한다.

⑦ 단계 및 장기양수시험 시, 수위변화기록은 현장기록원에 수기기록과 자동수위측정기를 이용하여 동시에 기록한다.



그림 11-3. 대수성 시험 수행 절차

나. 양수시설 인양 전 수질검사

양수시설 인양 전 수질검사는, 가장 최근에 선행된 수질검사 이후(양수량 100m³/일 미만의 관정으로, 관정 개발 이후 한차례도 수질검사를 이행하지 않았다면 관정 개발 이후), 지하수 이용에 따른 수질의 변화를 평가하고자 시행된다(그림 11-4). 수질검사는 대수성 시험과 마찬가지로 현재 상태의 지하수 시설물에서 시행하고, 외부의 영향을 받지 않는 대수층 내 순수한 지하수 채수를 위해 장기양수시험 시 채수하여 분석하는 것을 원칙으로 한다. 세부적인 시행 방법과 분석항목은 아래와 같다.

- ① 양수시설 인양 전 지하수 수질 검사를 실시하며, 분석을 위한 시료는 장기양수시험 시 채수한다.
- ② 지하수 수질검사를 위한 시료는 채수 후 3시간 이내에 시·도보건환경연구원 등 국가에서 지정한 먹는물 수질검사기관에 의뢰하여 분석한다.
- ③ 지하수 수질검사를 위한 분석항목은 23개 항목(카드뮴, 비소, 시안, 수은, 유기인, 페놀, 납, 6가크롬, TCE, PCE, 111-TCA, pH, 질산성질소, 염소, 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 암모니아성질소, 과망간산 칼륨소비량, 철, 망간, 탁도, 색도)이다.



전경



주파수변조기 설치



지하수위측정



자동수위측정기 설치



대수성 시험



수질시료채취

그림 11-4. 관정 내부시설 인양 전 시험 절차

이 표준지침서에서는 수질검사 항목 중 농어업용 지하수 수질검사 14개 항목 이외에, 관정 내부 오염물질의 존재형태를 간접적으로 분석하고자 9개 항목(일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 암모니아성 질소, 과망간산칼륨소비량, 철, 망간, 탁도, 색도)을 추가로 제시하였다. 추가분석 항목은 시험감독자의 판단 하에 각 공공관정의 부지특이적(site-specific) 환경에 따라 분석항목의 개수를 줄이거나 추가할 수 있다.

다. 관정내의 양수시설 인양

크레인 등을 이용하여 관정 공벽의 충격없이 내부 자재의 붕괴를 유의하면서 관정 내 양수시설을 인양한다. 인양된 양수시설물의 각 부품을 손질하고 세척하여, 재설치 전에 최상의 정비를 마칠 수 있도록 한다(그림 11-5).

- ① 안전사고 예방조치 후, 양수시설을 인양한다.
- ② 인양된 시설물은 정비 및 세척을 위한 품목별로 구분하여 정리한다.
- ③ 인양된 시설물 설비에 대한 점검을 실시한다.



관정시설 인양 전



관정시설 인양



내부자재 인양



그림 11-5. 관정 내부시설 인양

라. 관정 내 세정작업 전 수중TV 검층

세정작업 전 수중TV 검층은 기본적으로 세정작업 전·후 관정 내 이물질의 양을 비교하여, 세정작업으로 이물질이 얼마만큼 제거되었는지에 대하여 정성적으로 확인할 수 있는 근거를 제공한다. 또한 수중TV 검층으로 이물질의 종류를 확인할 수 있기 때문에, 해당 이물질 제거를 위해 어떠한 세정기술이 가장 적합한지에 대한 정보까지도 제공한다(그림 11-6). 이에 따라, 관정 내부에 침전된 물질의 양이 어느 정도이며, 이물질의 종류가 무엇인지에 대한 정보를 가장 명확하게 판단하기 위해서는 가급적 교란되지 않은 상태에서 촬영을 하는 것이 무엇보다 중요하다.

- ① 양수시설을 인양하고 24시간 경과 후 관정 내 수중TV 검층을 시행한다.
- ② 수중TV 검층 시 공벽에 침전되어 있는 이물질 등의 심도를 기록한다.
- ③ 녹화된 검층파일에서는 이물질이 상세히 보일 수 있도록 해상도를 최대한 높여서 기록한다.



수중TV 검층 전경



수중TV 검층 장비

그림 11-6. 수중TV 검층

마. 관정 내 세정작업 전 소독제 투입 검증

소독제는 화학적 처리 방법의 하나로 관정 내부시설에 부착되어 자라고 있는 미생물을 제거하여 수질개선을 도모하며, 미생물 제거로 관정세정 작업 시 스크린의 공극 확보를 좀 더 쉽게하는 목적으로 사용된다(그림 11-7). 소독제의 주입량은 관정의 구경, 심도에 따라서 달라지며, 소독약품 주입량은 “수도시설의 청소 및 위생 관리 등에 관한 규칙”에 제시되어 있는 적정 주입량을 적용한다.

$$V = Q \times R \times \frac{100}{C} \times \frac{1}{d} \times 10^{-3}$$

V: 용적주입량(L), Q: 처리수량(m³/h)

R: 염소주입률(mg/L)=0.1mg/L

C: 유효염소농도(%)=5%(w/v)

d: C%일 때의 밀도(kg/L)=1.085kg/L

➔ 차아염소산나트륨의 용적주입량 = 0.00184 L/m³ = 1.84mL/m³

- ① 수중TV 검증 후, 우물 소독제를 투여한다.
- ② 우물 소독제의 종류, 투여량, 투여심도 등은 일지에 기록한다.
- ③ 우물 소독제 투입 후 24시간 이상 정치하여, 소독제와 우물 내 이물질 간의 충분한 반응시간을 확보하여야 한다.



그림 11-7. 소독제 주입

2. 점검정비(사후관리)

가. 관정 내부 세정작업

관정 내부 세정작업을 위해 관정시설 인양 후 시행된 대수성 시험, 수질검사 및 수중TV 검증결과를 토대로

최적의 세정방법을 선택한다(그림 11-8). 개별 세정기술은 제4장에 수록하였다. 세정작업은 관정 내 이물질
을 완전히 제거하는 것을 원칙으로 한다.

- ① 관정별 개별 세정기술을 이용하여 지하수공 공벽에 침전되어 있는 스케일(scale)과 오염 유기물질을 제거
한다.
- ② 관정 내 잔류된 이물질을 완전히 지상으로 토출하여 최종적으로 청수가 채수될 때까지 세정작업을 시행
한다.



공사업	관공관정 최적관리 원상시정 및 효율평가 연구용역
공 번	상수 6
일 자	2015.08.24
내 용	내부세척
위 치	경주시 남면 답령리 상수리 56-9

양수설비 세척



공사업	관공관정 최적관리 원상시정 및 효율평가 연구용역
공 번	상수 6
일 자	2015.08.24
내 용	내부세척
위 치	경주시 남면 답령리 상수리 56-9

양수설비(전선 등) 세척



공사업	관공관정 최적관리 원상시정 및 효율평가 연구용역
공 번	상수 6
일 자	2015.08.26
내 용	관내에어싱
위 치	안성시 평도읍 진사리 251-4

관정 내부 세척 (에어써징)



관정 내부 세척 (펄스방전)



관정 내부 세척 (파워버블)



그림 11-8. 관정 점검정비(사후관리)

나. 양수시설 정비 및 세척

세정작업을 통해 관정내부 시설의 벽면과 스크린 등이 깨끗하게 세정된 경우에도, 양수시설(수중모터펌프, 양수배관 등)에 대한 세척작업이 이루어지지 않으면 관정시설물 재설치 시 지하수 수량증대에 따른 효율개선에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다. 또한 세척되지 않은 양수시설에 부착된 미생물 등은 수시간~수일 내에 증식하므로, 수량과 수질에 악영향을 끼치게 된다. 따라서 양수시설의 정비 및 세척은 관정내부 세정작업과 함께 매우 중요한 작업이다. 양수시설 세척 시에는 부착된 이물질들을 완전히 제거하는 것을 원칙으로 한다.

- ① 수중모터펌프의 가동상태를 점검하고 정비 및 세척한다.
- ② 수중동력전선의 절연상태와 결선여부를 점검하고 세척한다.
- ③ 양수배관의 노후상태를 점검하고 세척한다.
- ④ 고장이 발생한 양수시설물은 교체하도록 한다.

다. 관정의 제원 측정

관정 세정작업 후 관정 내에 침전된 이물질, 토사 등이 제거될 경우 지하수 관정의 심도가 허가신고증에 기록된 것보다 깊어질 수 있다. 반대로 부적절한 세정기술을 적용하여 공내 붕락이 발생되었을 경우에는 심도가 낮아질 수 있다. 또한 사후관리 종료신고 시 관정 시설물 변경내역에 대한 정보를 기록하게 되어 있으므로, 허가 신고증에 기록된 내역과 다른 정보가 발견될 경우 수정하여 종료신고를 하여야 한다. 따라서 관정 세정작업 후에는 관정의 제원에 대한 정확한 측정이 필요하다(그림 11-9).

- ① 지하수이용시설 허가증 또는 신고증에 기재된 제원을 측정 및 비교한다.
- ② 심도, 구경, 유공관 및 무공관 설치 심도 등 관정제원에 관한 사항, 만약 수중모터 등 양수설비를 교체하였을 경우 교체내역 등을 상세히 기록한다.



그림 11-9. 관정제원 확인

3. 점검정비 이후 평가 방법

가. 관정 내 세정작업 후 수중TV 검층

세정작업 후 수중TV 검층은 세정작업 전과 비교하여 관정 내 이물질의 양이 얼마만큼 감소되었는지에 대하여 정성적인 정보를 제공한다. 또한 세정작업 후 관정시설물 내 잔존물질의 종류와 양을 토대로 적용된 세정기술의 적합성도 확인할 수 있다. 수중TV 검층은 관정세정을 종료하고 첫 번째 단계로 수행하여야 한다.

- ① 세정작업을 종료하고 24시간 경과 후 관정 내 수중TV 검층을 시행한다.
- ② 수중TV 검층 시 공벽에 침전되어 있는 이물질 등의 심도를 기록한다.
- ③ 녹화된 검층과일에서는 이물질이 상세히 보일 수 있도록 해상도를 최대한 높여서 기록하여야 한다.

나. 관정 내 양수시설 재설치

청수로 세척된 양수시설은 크레인 등을 이용하여 관정 공벽의 충격없이 내부 자재의 붕괴를 유의하면서 관정 내에 재설치 한다. 만약 관정 내부 시설의 붕락이 발생하는 경우에는, 그 설치심도를 조절할 수 있다.

- ① 수중TV 검층 후 정비 및 세척된 양수시설을 관정내에 설치한 후 가동상태를 점검한다.

다. 양수시설 재설치 후 대수성 시험

양수시설 재설치 후 대수성 시험은, 관정 세정작업 이후 지하수 수량개선(효율증대 및 추가 확보 양수량)가 얼마만큼 발생하였는지를 정량적으로 평가하기 위해 시행된다. 대수성 시험은 양수시설이 재설치된 상태에서 시행되며, 세정작업 전과 마찬가지로 단계양수시험 및 장기양수시험으로 구분하여 우물효율, 투수량 계수 등을 산출한다. 세정작업 전·후 수량개선을 평가하기 위해, 세정작업 전·후의 대수성 시험 방법을 동일하게 한다.

- ① 양수시설 재설치 후 대수성 시험을 실시한다.
- ② 대수성 시험은 단계양수시험과 장기양수시험으로 구분하여 실시한다.
- ③ 단계양수시험은 4~5단계로 구분하여 동일한 양수량 증가분을 증가시키며 진행하며, 매 단계 당 2시간 이상 동일한 시간 간격으로 시행한다.
- ④ 단계양수시험은 매 단계마다 2시간 이상 실시하며, 각 단계별로 동일한 시간 간격으로 시행한다.
- ⑤ 장기양수시험은 관정의 최대수량으로 16시간 이상 시행한다.
- ⑥ 단계 및 장기양수시험 시, 토출유량 조절은 주파수변조기를 이용한다.
- ⑦ 단계 및 장기양수시험 시, 수위변화기록은 자동수위측정기 등을 이용한다.

라. 양수시설 재설치 후 지하수 수질 검사

양수시설 재설치 후 수질검사는, 세정작업에 따른 수질이 얼마만큼 개선되었는지를 평가하기 위해 시행된다. 수질시료는 장기양수시험 시 채수하며 세부적인 시행 방법은 아래와 같다. 수질검사 항목은 세정작업 전

과 동일한 항목을 분석한다. 만약 수중TV 검층 등을 통해 의심이 되는 수질오염 물질이 발견된다면, 시험자의 판단 하에 항목을 추가할 수 있다.

- ① 양수시설 재설치 후 지하수 수질 검사를 실시하며, 분석을 위한 시료는 장기양수시험 시 채수한다.
- ② 지하수 수질검사를 위한 시료는 채수 후 3시간 이내에 시·도보건환경연구원 등 국가에서 지정한 먹는물 수질검사기관에 의뢰하여 분석한다.
- ③ 지하수 수질검사를 위한 분석항목은 23개 항목(카드뮴, 비소, 시안, 수은, 유기인, 페놀, 납, 6가크롬, TCE, PCE, 111-TCA, pH, 질산성질소, 염소, 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 암모니아성질소, 과망간산 칼륨소비량, 철, 망간, 탁도, 색도)이다.

마. 관정시설 수리 및 교체

관정 내부 시설물에 대한 세정작업 이외에도, 관정시설물의 선량한 관리를 위하여 전기가동시설, 관정외관 등을 수리 및 교체하도록 한다<그림 11-10>. 또한 관정정보를 보여주는 입간판 등의 훼손이 발견되었을 경우에는 신규로 제작하여 재설치토록 하며, 점검정비로 인해 발생한 폐기자재 등은 폐기물법 등 관련법에 의거하여 별도로 처리하도록 한다.

- ① 계량기, 수위측정관, 수도꼭지, 관정보호 시설 등 파손된 부분이 발견될 경우 수리 및 교체한다.
- ② 배전반 등 전기상태 등을 확인하고, 전기인입이 되었음에도 불구하고 시설물 작동이 불가할 경우 시설물을 수리한다.
- ③ 양수장옥 외벽 및 내부를 청소하고, 최종적으로 페인트칠을 실시한다.
- ④ 출입문 고장 시 즉시 수리한다.
- ⑤ 입간판이 떨어져 있거나, 기재된 글씨가 안보일 경우, 새롭게 설치한다.
- ⑥ 관정세척 후 폐기자재 등이 발생할 경우 폐기물 관련법에 따라 별도로 처리한다.



시설 보수 전



시설 보수 후

그림 11-10. 관정 시설보수 전·후 사진

제3절 사후관리 이행 및 종료신고

시험자는 양수능력 150m³/일 초과 공공관정에 대하여 점검정비(사후관리)를 시행할 경우, 점검정비(사후관리) 시행 전 지하수법 관련 조항에 따라 「사후관리 이행신고서」를 공공관정이 소재한 시·군 지자체의 지하수 관리부서에 제출하고, 시·군 지자체로부터 「사후관리 이행신고증」을 수령해야 한다. 또한 점검정비(사후관리) 시행 중에는 항상 사후관리 이행신고증을 비치하여야 한다<그림 11-11>.

점검정비 종료 후에는 지하수법 관련 조항에 따라 「사후관리 이행종료신고서」를 공공관정이 소재한 시·군 지자체의 지하수 관리부서에 제출하고, 시·군 지자체로부터 「사후관리 이행종료신고증」을 수령해야 한다. 수령된 사후관리 이행종료신고증은 지하수정보를 위해 농어촌지하수넷 등 웹사이트 등에 업로드 하여 관리하는 것이 좋고, 이를 토대로 매 5년 주기로 사후관리를 시행하도록 하여야 한다.

사후관리 이행신고서

집수번호	집수일	처리기간	5일
신고인	성명 (법인명)	생년월일 (법인등록번호)	
	주소(법인인 경우에는 주된 사무소의 소재지) (전화번호:)		
허가(신고)번호			
사후관리 이행내용	구분	() 청소	시행 예정일
	예정 시공업체	() 검사·정비	등록번호(전화번호)

「지하수법」 제9조의5제2항 전단에 따라 사후관리 이행을 위하여 위와 같이 신고합니다.

년 월 일

신고인 (서명 또는 인)

시장·군수·구청장 귀하

신고인 제출서류	없음	수수료	없음
----------	----	-----	----

처리절차

신고서 작성
신고인

→

집수
처리기관
(시·군·구)

→

선발
처리기관
(시·군·구)

→

검토
처리기관
(시·군·구)

→

신고 수리

210mm×297mm(복상지 80g/㎡(제출용종))

사후관리 이행종료신고서

집수번호	집수일	처리기간	10일
신고인	성명 (법인명)	생년월일 (법인등록번호)	
	주소(법인인 경우에는 주된 사무소의 소재지) (전화번호:)		
허가(신고)번호			
사후관리 이행내용	구분	() 청소, () 검사·정비	시행일
	제원(課元) 확인	* 단순 검사·정비인 경우에는 기록하지 않습니다. 자원 수위 m 굴착 심도 m 동력 장치 HP 설치 깊이 m	
시공업체			등록번호(전화번호)

「지하수법」 제9조의5제2항 후단에 따른 사후관리 이행종료를 위와 같이 신고합니다.

년 월 일

신고인 (서명 또는 인)

시장·군수·구청장 귀하

신고인 제출서류	1. 사후관리 이행을 증명할 수 있는 서류 2. 원형사진(지하수개발·이용시설의 청소인 경우에는 공청물로 촬영한 사진을 말합니다)	수수료	없음
----------	--	-----	----

처리절차

신고서 작성
신고인

→

집수
처리기관
(시·군·구)

→

선발
처리기관
(시·군·구)

→

현장 확인
처리기관
(시·군·구)

→

결재
처리기관
(시·군·구)

→

신고증 발급

210mm×297mm(복상지 80g/㎡(제출용종))

(a) (b)
그림 11-11. 사후관리 이행신고서(a) 및 이행종료신고서(b)(출처: 지하수법 시행규칙)

제12장 연구개발 성과

제1절 연구개발 성과

이 연구에서는 2년간의 연구기간 동안 총21개(논문게재 4건, 특허출원 2건, 학술발표 12건, 언론홍보 7건, 학술대회 특별세션 1건, 기술전시 1건)의 연구개발성과를 도출하였다. 그 상세한 내역은 아래와 같다.

1. 논문게재: 4건

- 이병선, 송성호, 박정근, 원용천, 김원석, 2016, 농어업용 공공관정 기능진단 표준화(안)을 이용한 최적 사후관리, 지하수토양환경, 21(4), 1-9.
- 송성호, 이병선, 안중기, 2016, 농업용 관정의 기계적 처리 이후 성능 개선 효과의 정량적 평가 사례, 지하수토양환경, 21(4), 42-49.
- 이병선, 김영인, 박학윤, 조정환, 송성호, 2015, 양식장 용수 추가 확보를 위한 수압파쇄 적용성 평가, 지하수토양환경, 20(7), 22-30.
- 김진성, 차장환, 송성호, 정교철, 2014, 지하수 부존지역에서 최적 지열에너지 활용방식 수치 모의, 지질공학, 24(4), 487-499.

2. 특허출원: 2건

- 출원번호: 10-2016-0064804
출원일자: 2016.05.26.
출원인: 한국농어촌공사, 씨앤에치아이엔씨(주)
발명의 명칭: 우물효율 개선효과를 고려한 원위치 지하수 관정 세척 시스템과 그 세척 방법
- 출원번호: 10-2016-0064806
출원일자: 2016.05.26.
출원인: 한국농어촌공사, 씨앤에치아이엔씨(주)
발명의 명칭: 원위치 수두 연동형 우물 세척 장치 및 그 방법

3. 학술발표: 12건(해외 4건, 국내 8건)

- Song S.H. and Lee, B.S., 2016, Estimation of well efficiency after well treatment: case history in S. Korea, Proceedings of 2016 International Geologic Congress, Cape Town, South Africa.
- Song S.H., Lee, B.S., and Kim, J.S., 2016, Drought effects on groundwater system over rural area in S.

- Korea, Proceedings of 2016 International Geologic Congress, Cape Town, South Africa.
- Kim, J.S., Song S.H., and Jeong, G.C., 2016, Efficiency analysis of geothermal heating and cooling system using groundwater in S. Korea, Proceedings of 2016 International Geologic Congress, Cape Town, South Africa.
 - Song S.H. and Lee, B.S., 2015, Application of step-drawdown test for planning agricultural groundwater well maintenance in S. Korea, Proceedings of 2015 European Geoscience Union, Vienna, Austria.
 - 송성호, 안중기, 김진성, 2016, 가뭄을 대비한 농어촌지역 지하수자원의 활용 방안, 2016 한국농공학회 학술발표회, 유성호텔, 대전.
 - 송성호, 이병선, 안중기, 박정근, 2016, 농어업용 공공관정 정비를 통한 지하수자원 추가 확보량 정량적 평가, 2016 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회 한국농어촌공사 특별세션, 한남대학교, 대전.
 - 박정근, 안청운, 원용천, 2016, 압축공기를 이용한 파워버블 클리닝 관정재생 기술, 2016 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회 한국농어촌공사 특별세션, 한남대학교, 대전.
 - 남성우, 송성호, 이명재, 엄권식, 2016, 관정정비 기법별 우물세척을 통한 우물효율 증대 적용 사례, 2016 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회 한국농어촌공사 특별세션, 한남대학교, 대전.
 - 송성호, 이병선, 2016, 우물세척 전후의 농업용 지하수 관정 우물효율의 정량적 평가, 2016 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, 서울대학교 호암교수회관, 서울.
 - 송성호, 이병선, 안중기, 홍순욱, 김진성, 원용천, 박정근, 2015, 농어업용 공공관정 사후관리를 통한 우물 효율 극대화 사례, 2016 대한지질공학회 춘계학술발표회, 롯데리조트, 부여.
 - 송성호, 이병선, 안중기, 홍순욱, 김진성, 원용천, 박정근, 2015, 농어업용 공공관정 사후관리를 통한 우물 효율 극대화 사례, 2016 대한지질공학회 춘계학술발표회, 롯데리조트, 부여.
 - 송성호, 이병선, 홍순욱, 2015, 우물효율 평가를 위한 단계양수시험 해석 방법 개선, 2015 한국농공학회 학술발표회, 중흥리조트, 나주.
 - 이병선, 송성호, 박정근, 2015, 농어업용 공공관정 사후관리 효율평가 개선 방향, 2015 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, 곤지암리조트, 광주(경기).

4. 언론홍보: 7건

- 뉴시스 2016.09.06. 지하수 관정 침전물 제거기술 개발 ‘양수량 16% ↑’
- 중부일보 2016.09.07. 농어촌공사, 지하수 관정 이물질 제거 신기술 개발
- 뉴스 1 2016.09.06. 농어촌공사, 지하수 관정 양수량 16% 증가 기술 개발
- 아시아뉴스통신 2016.09.06. 농어촌공사, 지하수 관정 침전물 제거해 양수량 16% 증가
- 파이낸셜뉴스 2016.09.06. 농어촌공사, 지하수 관정 침전물 제거 양수량 16% 증가
- 경기신문 2016.09.06. 지하수 관정 침전물 제거기술 개발

- 중부매일 2016.09.06. 농어촌공, 고압 질소 분사 방식 정비기술 개발

5. 학술대회 특별세션: 1건

- 학술대회명: 2016 한국지하수도환경학회 추계학술발표회
- 일시 및 장소: 2016.10.14., 한남대학교 56주년기념관, 대전
- 특별세션명: 관정 정비를 통한 농업용 지하수자원 추가 확보
- 주최: 한국농어촌공사, 한국지하수도환경학회

6. 기술전시: 1건

- 학술대회명: 2016 한국지하수도환경학회 춘계학술발표회
- 일시 및 장소: 2016.04.14~15, 서울대학교 호암교수회관, 서울
- 기술전시: 파워버블장치(우물효율 개선 장치) 홍보부스 운영
- 전시업체: 씨앤에치아이엔씨(주) (* 본 과제 참여기업)

제2절 연구목표 대비 성과

연구계획서 대비 연구성과는 아래와 같다. 과제 종료 시 특허출원을 1건 예상하였으나, 2건의 특허출원을 하였다. 논문의 경우 비SCI 2건, 학술발표 2건이 목표였으나, 각각 4건, 12건의 실적을 기록하였다. 그리고 홍보의 경우 당초 2건이 목표였으나, 언론홍보, 학술대회 특별세션, 기술전시 등 총 9회의 홍보를 실시하였다. 이에 따라, 각 항목별 당초 목표를 크게 선회하는 연구성과를 보였다(표 12-1).

표 12-1. 과제 종료시 연구목표 대비 달성도

성과목표	사업화지표										연구기반지표							
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과		교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자 유치		논문				정책 활용	홍보 전시	
												SCI	비SCI						학술 발표
최종목표	1											2	2				2	
연구기간내 달성실적	2											4	12				9	
달성율(%)	200											200	600				450	

과제 종료 이후에도 그 동안 연구내용을 종합하여 (표 12-2)와 같은 성과를 창출할 계획이다. 그 구체적인 내용으로는 사업화지표의 경우 특허등록 2건, 참여기업으로의 기술이전 1건, 참여기업의 사업화를 통한 사업화 매출성과 1건 등이다. 연구기반지표로는 SCI저널 논문게재 1편, 학술발표 4건, 관련기관 및 종사자 교육지도 5건, 그리고 이 연구에서 제안한 정책연구의 정책반영 1건 등이 있다.

표 12-2. 향후 연구성과 달성 내역

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자 유치		논문		학술 발표			정책 활용	홍보 전시	
											SCI	비 SCI							
최종목표	1	1		1			1						2	2	5		1	2	
연구기간 내 달성실적	2												4	12				9	
연구종료 후 성과창출계획		2		1			1						1	4	5		1		

사업화 성과 및 매출실적의 경우, 최근까지 연구과제의 수행 중이었던 관계로 뚜렷한 매출실적을 올리지는 못하였다. 그러나 향후 과제 종료 후 참여기업 또는 이 연구에서 개발된 기술에 수요가 있는 기업 등과 기술실시계약을 체결하는 경우, 이 연구에서 개발한 특허장치와 연구결과물을 이용하여 기술실시 기업이 사업화에 충분히 성공할 것으로 기대된다.

제13장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발 목표달성도

공공관정은 지하수를 수원공으로 이용하는 농어촌지역 주민들에게 청정 지하수를 공급할 수 있으므로, 시설 농업에 종사하는 농어민들에게 고소득 농작물 생산량 증대를 통한 소득 향상에 기여하고 있다. 이를 통하여 농어가 소득 창출이 가능함에 따라, 공공관정의 최적관리는 농어민에 있어 생계와 직접 연관된 요구사항이다. 이 연구에서는 공공관정에 대한 주기적인 재생 작업으로 최초 개발당시의 기능을 유지하도록 하여, 추가 개발이 용에 따른 소요비용 없이도 주요 수원공으로서 공공관정을 꾸준히 이용할 수 있는 다양한 방안에 대하여 검토하였다. 이를 위해 2년에 걸친 연구공정 계획을 수립하였고, 계획된 공정에 따라 연구과제의 세부내용을 연구기간 내에 모두 수행하였다. 연구 수행과정 중에 다양한 전문가들과 함께 여러차례 회의를 거쳐 연구내용을 취합 및 논의하였고, 개선·발전된 방향으로 연구를 진행하였다.

표 13-1. 연구개발 계획 대비 실적표

(계획 실적 ——)

구분	세부연구개발 목표	1차 년도	2차 년도	진도율 (%)	수록내용
기능 진단 표준화	• 공공관정 기능저하 원인	.....	——	100	제2장
	• 공공관정 기능진단 방법	.....	——	100	제3장
	• 공공관정 사후관리 기술	.....	——	100	제4장
	• 공공관정 기능진단 표준화(안) 제시	.....	——	100	제5장
현장 시험 평가	• 관정정비 효과의 정량적 평가 기술	.....	——	100	제6장
	• 정비공법별 지하수 추가 확보량의 정량적 평가	.....	——	100	제7장
	• 정비공법별 지하수 수질 개선의 정량적 평가	.....	——	100	제8장
유지 관리 표준화	• 상시 관정정비 기술 개발	.....	——	100	제9장
	• 체계적인 공공관정 정비 방안 제시	.....	——	100	제10장
	• 공공관정 정비 표준지침서(매뉴얼) 제시	.....	——	100	제11장

세부적인 연구 목표 달성도의 상세한 내용은 다음과 같다. 첫째, 기능진단 표준화를 위해, 우선 관정정비(사후관리)에 대한 법적 시행근거 및 정비방법을 정리하였다. 지하수법 관련 조문을 조사하였으며, 농업기반시설 관리대상 및 관리체계를 분석하였다. 법적 근거를 토대로 국내에서 시행되는 공공관정 사후관리 기술에 대하여 문헌조사(기계적 방법, 화학적 방법)를 실시하였고, 현장에서 주로 시행되는 기술을 정리하였으며, 국내특허를 일괄정리(에어써징 11건(38%), 브러싱 9건(31%), 가스주입 1건(3%), 펄스방전 1건(3%), 기타 7건(22%))하였다. 또한 공공관정 기능저하 원인 분석 결과, 공공관정 기능저하 원인은 유지관리 불량에 따른 노후화(시설물 훼손, 설비고장)와 지하수 이용에 따른 노후화로 구분할 수 있었다. 지하수 이용에 따른 노후화는 충전(화학적/미생물학적 침전물, 세립자 충전, 수중모터 세립질 유입 등에 의한 충전현상)과 부식(연결부 부식, 수중모터 산화작용, 부식생성물의 침전/충전(수량 감소 및 수질 악화가 대부분 동시에 발생))으로 구분되었다. 그리고 현장에 난립된, 개별 작업자의 경험에 기대어 시행되는 관정진단 방법을, 4단계(기본진단-세부진단-점검정비-유지관리의 4단계 표준화 진단법 수립)로 체계적으로 정리하여 제시하였다. 더불어 4단계 진단결과를 토대로 점검정비에 따른 관정개선능 평가 및 상시 유지관리 진단 방법을 제시하였다.

둘째, 공공관정 기능진단 표준화(안)을 토대로 현장시험이 가능한 관정에 대하여 사전답사가 이루어졌고, 이를 토대로 수계유역별 4개소, 정비공법별 12개소 등 총 16개소 관정에 대한 관정정비 효율평가가 시행되었다. 수계유역별 관정정비 효율 현장실험으로, 점검정비 후 우물효율 평가를 위한 최적 단계양수시험 해석방법이 모의되었고, 수질과 수량에 대한 동시 분석으로 충전현상 및 부식과의 상관관계를 규명하고자 하였다. 결과적으로, 우물효율 증가는 수계유역보다는 개발 후 경과년수와 상관성이 높았다. 즉, 개발 후 3~5년 경과된 관정들은 점검정비 후 우물효율 증가가 3% 미만이었으나, 9~10년 경과된 관정들은 43% 까지 효율이 증가되었다. 경과년수에 영향을 주는 주된 요인은 부유물질, 유기물 등의 유입 때문이었고, 수량 감소 원인은 충전현상 및 부식에 따른 수질저하와 직접적인 상관관계가 있었다. 또한 관정 점검정비 이전에 대표적인 수질항목과 현장 토출량 점검 결과로도 관정 막힘 현상을 간접적으로 유추할 수 있었으며, 이를 토대로 관정 사후관리 시급 순위를 결정할 수 있었다. 정비공법별 관정정비 효율 현장실험으로, 정비공법 종류에 따른 효율변화를 평가하였다. 공법별 수평적인 평가를 위해, 모든 공법에 공통적으로 양수시설 인양 전·후 대수성 시험 및 수질검사로 수량 및 수질개선 비교평가를 시행하였으며, 관정 사후관리 작업 전·후 수중TV 검층으로 우물개선 평가를 시행하였고, 이를 통해 각 공법별 우물효율변화, 수질변화 등을 비교 검토하였다. 결과적으로, 정비공법에 따른 우물효율 개선의 차이는 뚜렷하지 않았다. 그러나 점검정비 후, 우물손실계수는 감소하고, 수위강하폭 역시 감소하였으며, 수중TV 검층 결과 관정 사후관리 후 공내 탁도 및 부유물이 감소하였다. 또한 공법별로 우물수두 손실계수와 대수층수두손실계수의 감소폭의 차이가 발생함에 따라 대수층의 특성과 함께 관정 내의 스크린 폐색 상태 등을 고려하여 적합한 공법 선정이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 신규 공법들을 이용하는 경우, 에어써징 공법과 같이 범용화를 위해서는 체계적인 현장시험 방법의 추가가 필요한 것으로 나타났다. 점검정비 후 수량 증가 및 탁도 개선은 확인되었지만, 이온 및 중금속 물질의 저감이 크지 않았다. 수질개선은 축사를 비롯한 점오염원 근처 공공관정에 대해서는 가장 중요한 사항이므로, 수질개선이 동반된 점검정비 기술에 대한 모의와 개량이 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 진단기술 표준화와 현장실험 내용을 토대로, 유지관리 표준화(안)을 제시하였다. 유지관리 표준화(안)

에 앞서, 이 연구에서는 독자적인 발명으로서 상시 관정정비 기술(장치)을 개발하였다. 상세하게는, 관정 내부에 수위측정관을 대신하여 주입된 관을 통해서 질소기체를 원위치에서 분사할 수 있도록 하여 짧은 주기로 관정 내부를 상시 유지·관리 가능한 방법으로 1) 원위치 수두 연동형 우물세척장치 및 그 방법과 2) 우물효율 개선효과를 고려한 원위치 지하수 관정 세척 시스템과 그 세척방법을 개발하여 특허를 출원하였다. 이를 통하여 상시 선량한 공공관정 관리 및 이를 통한 지하수자원 최적관리를 도모하였다. 또한 전국에 산재된 농어업용 공공관정에 대한 최적관리를 위해 농어업용 공공관정 위탁관리 방안(전문기관 위탁, 편입), 관정종류별 위탁관리 방안 등에 대하여 상세히 제시하였다. 이를 통해 상시 수자원인 지하수의 최적관리 및 효율적인 이용이 가능토록 의견을 제시하였다. 그리고 현장에서 실제로 농어업용 공공관정에 대한 과학적인 사후관리가 이루어질 수 있도록, 점검정비(사후관리)에 대한 표준지침서(매뉴얼)를 작성하여 관련기관 종사자들이 누구나 쉽게 이용할 수 있도록 제시하였다.

이상의 내용과 같이 본 연구에서는 최초로 제안했던 세부 연구 내용 및 목표를 충실히 수행하였으며, 최종적으로 농어업용 공공관정 정비를 통한 지하수자원 추가 확보 방안 기술을 개발하여 당초에 이루고자 했던 최종 연구목표를 충실히 달성하였다.

제2절 대외기여도

농어업용 공공관정에 대한 유지관리를 위해서, 대부분의 시·군 지자체에서는 지하수법에 의거한 법적주기(허가관정의 경우 매 5년)에 따른 사후관리가 시행되거나, 또는 지자체 예산부족으로 시행하지 못하는 경우가 있다. 또한 신고관정의 경우 법적 사후관리 규정이 없기 때문에, 개발 후 부적절한 유지관리로 불능상태인 경우도 종종 발생한다. 무엇보다도 관정의 수량·수질이 저하되어도 해당 부락의 사용자(관리자)의 무지에 의해, 해당 공공관정은 적절한 유지관리를 받지 못하는 경우가 빈번하게 발생한다.

이 연구에서 제시한 최적 점검정비를 위한 표준화된 기능진단 실시요령을 이용하면, 개별관정의 특수성을 고려한 관정별 적절한 맞춤형 진단(관정의 규모, 용도, 토출량 및 효율저하 원인), 농어업용 공공관정의 최적 유지관리, 개발·이용에 기여할 수 있다. 그리고 공공관정 진단방법, 수량·수질저하 원인 분석방법, 상시 유지관리를 위한 원위치 관정세척 기술 등은 현장 실무자로 하여금 손쉽게 공공관정 기능저하를 판단할 수 있는 손쉬운 기법을 제공하는데 기여할 수 있다.

이렇게 체계적으로 정리되고, 과학적으로 접근법이 마련된 이 연구의 성과는 전국 시·군 지자체 농어촌 용수구역에 약 27,000개소의 농어업용 공공관정에 즉시 적용가능하다. 이 연구과제에서 개발한 표준화된 기능진단(안)을 중심으로 사업 우선순위를 결정하고, 우선순위가 높은 관정부터 관정정비 표준지침서를 적용하여 즉시 점검정비가 가능하다면, 국가 수자원 이용의 효율성 제고에 큰 기여가 가능할 것으로 판단된다. 또한 해외 후진국/개발도상국 수자원 조건불리 지역에 이 연구에서 정립된 기술을 적용하여 기술 수출의 방안을 모색할 수 있으며, 농업분야 전면적 시장개방에 대비, 표준화된 기술의 수입 대체 효과도 유발할 수 있을 것으로 기대된다.

제14장 연구개발결과의 활용계획

제1절 실용화 계획

이 연구의 실용화 계획은 계량적으로 매우 뚜렷하다. 전국 시·군지자체 농어촌 용수구역에 약 27,000개소의 농어업용 공공관정이 소재하고 있는데, 이 연구 종료 후 개발된 기술을 이용하여 이들 공공관정에 대한 즉시 사업화를 실시할 수 있다(표 14-1). 이 연구과제에서 개발한 표준화된 기능진단(안)을 중심으로 사업 우선순위를 결정하고, 우선순위가 높은 관정부터 관정정비 표준지침서를 적용하여 즉시 점검정비를 실시할 수 있다. 실용화 사업을 위한 재원(안)으로는 농식품부 지특회계(지자체 공공관정) 및 농특회계(한국농어촌공사 공공관정)를 들 수 있다. 만약 지하수조사전문기관으로 공공관정 위탁관리가 이루어진다면, 이들 관정에 대한 공공 사업화 추진이 즉시 가능할 것으로 전망된다. 공공관정 위탁관리 사업이 시행되는 경우에 이 연구에서 제시한 표준지침서(매뉴얼)를 모든 관정에 대해 준수하도록 지정하면, 전국 모든 농어업용 공공관정에 대한 과학적인 관리가 가능할 것으로 기대된다.

또한 해외 개발도상국 수자원 조건불리 지역에 본 연구에서 정립된 기술을 적용하여 기술 수출의 방안을 모색할 수 있으며, 농어업분야 전면적 시장개방에 대비, 표준화된 기술의 수입 대체 효과도 유발 가능할 것으로 기대된다.

비계량적으로는, 농어업용 공공관정의 효율저하 원인규명 및 표준화된 기능회복 기술 제시로 공공관정 이용성 제고에 기여할 수 있다. 이를 통하여 폐공 및 추가개발에 따른 소요비용 절감, 공공관정 특성에 맞는 우물세척, 우물효율 개선능 평가, 추가 확보 양수량의 정량적 평가, 수질·시설물 진단 평가가 가능한 통합 서비스 상품 개발이 가능할 것으로 기대된다.

표 14-1. 실용화가 가능한 전국 농어업용 공공관정

(단위: 개소)

구분	소계		관리주체			
			시·군 지자체		한국농어촌공사	
총계	27,926	100.0%	26,542	95.0%	1,384	5.0%
특·광역시	2,872	10.3%	2,800	10.0%	72	0.3%
부산	1,318	4.7%	1,318	4.7%	0	0.0%
인천	412	1.5%	394	1.4%	18	0.1%
대전	474	1.7%	461	1.7%	13	0.0%
대구	198	0.7%	188	0.7%	10	0.0%
광주	185	0.7%	181	0.6%	4	0.0%
울산	270	1.0%	253	0.9%	17	0.1%
세종	15	0.1%	5	0.0%	10	0.0%

표 14-1. 실용화가 가능한 전국 농어업용 공공관정 (계속)

(단위: 개소)

구분	소계		관리주체			
			시·군·지자체		한국농어촌공사	
도	25,054	89.7%	23,742	85.0%	1,312	4.7%
경기	1,747	6.3%	1,569	5.6%	178	0.6%
강원	1,618	5.8%	1,497	5.4%	121	0.4%
충북	1,548	5.5%	1,422	5.1%	126	0.5%
충남	2,898	10.4%	2,803	10.0%	95	0.3%
전북	2,587	9.3%	2,353	8.4%	234	0.8%
전남	4,466	16.0%	4,303	15.4%	163	0.6%
경북	4,948	17.7%	4,680	16.8%	268	1.0%
경남	4,324	15.5%	4,209	15.1%	115	0.4%
제주	918	3.3%	906	3.2%	12	0.0%

제2절 향후 연구를 위한 제언

이 연구에서 제시된 공공관정 점검정비 표준화기술(매뉴얼)은 국내에 농어업용 공공관정에 범용적으로 적용할 수 있는 기술로 자체 평가되지만, 향후 연속과제로서 공공관정 개선 외 미신고 관정 양성화 및 폐공발생 감소 등을 통한 지하수자원 추가 확보 방안에 대하여 연구가 시행될 필요가 있다. 특히 본 연구결과 관정개발 후 10년 경과 시점에서 대부분의 관정기능이 급격한 저하되는 것으로 나타남에 따라, 향후 이 기준을 적용하는 기술적인 검토 및 조치가 필요할 것으로 판단된다. 이러한 연속과제의 수행 및 결과의 도출은 풍요로운 농어촌의 청정 수자원으로서 지하수의 최적 유지관리에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

제15장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

국내와 마찬가지로 해외에서도 우물재생(rehabilitation)을 통한 관정의 사용기간 연장, 이를 통한 신규개발비 저감, 상시 지하수 수자원 확보 등에 대한 다양한 접근법이 소개되고 있다. 그러나 해외에서도 국내와 마찬가지로 우물재생 작업은 주로 전문가의 개별적인 경험과 기술에 의존해 시행됨에 따라, 체계적인 지하수 관정 유지·관리 업무수행지침 마련에 대해서 필요성이 제기되었다. 체계적인 우물재생을 위한 대표적 전문가들인 Houben과 Treskatis(2007)은 『Water well: rehabilitation and reconstruction』이라는 책을 통해, 현장에서의 경험과 지식을 토대로 한 체계적인 우물재생 표준지침을 제시한 바 있다. 따라서 이 장에서는 해외에서 적용되는 표준지침을 본 책자 내용 중 발췌하여 간략하게 정리하였다.

1. 관정 정보 수집

점검정비(사후관리)를 위한 관정의 상세한 정보(시설내역, 지하수 공급시설, 전기공급시설 등)가 점검정비 감독자에게 작업 전에 제공되어야 한다.

2. 우물재생 장비 점검

가) 우물재생 장비(사후관리 장비) 확인

우물재생을 위한 장비가 조립 및 분해 가능한지를 확인하여야 한다. 이때 우물재생현장으로 장비를 운반하는 작업 및 기타 부수적인 작업에 대한 확인도 수행되어야 한다.

나) 수중모터펌프, 토출 파이프 및 부수 설비

우물재생 작업에 사용하는 설비(수중모터펌프, 토출 파이프, 그리고 부수 설비 등)의 제거 및 재설치가 용이한지 등을 확인하여야 한다.

다) 임시 토출관 및 저류지

경량의 임시 토출관이 준비되어야 하며, 우물재생 작업 시 발생하는 토출수를 저류할 수 있는 충분한 용량의 저류지가 준비되어야 한다. 임시 토출관 및 저류지에 대한 상세한 내역은 점검정비(사후관리) 감독자에게 제출되어야 한다. 임시 토출관에는 최소 1개 이상의 수량측정 장비가 설치되어야 한다.

3. 기타 장비 점검

가) 수중TV 검층기

관정 전체 구간에 대하여 검층이 가능하며, 수평 및 수직 방향으로 공내촬영이 가능한 수중 TV 검층기가 준비되어야 한다. 특히 화면 규격 9.0×13.0cm의 비디오 카메라 테잎이나 디지털 CD가 준비되어야 한다.

나) 양수시험 장비 준비

각 관정의 규격에 맞는 양수시험 장비가 준비되어야 한다. 양수시험 장비는 수중모터와 양수에 적합한 길이의 파이프로 구성된다. 토출수는 기 준비된 임시 토출관을 통해 배출되어야 한다.

다) 양수시험 기록지 준비

개별 관정의 토출량 정보에 적합하도록 양수가 되어야 한다. 유량과 지하수위를 매 분단위로 기록할 수 있는 기록지가 준비되어야 한다. 또한 기록된 자료를 해석할 수 있도록, 분석에 이용되는 도표가 준비되어야 한다.

4. 기계적 세척

가) 수중모터 펌프와 토출관의 세척

관정의부로 인양한 수중모터 펌프와 토출관을 세척하여야 한다.

나) 관정 내부 벽면의 세정(브러싱)

관정 내부 지름에 적합하게 제작된 플라스틱 브러시를 이용하여 관정 내부 벽면을 닦아내어야 한다. 케이싱과 스크린은 구간 별로 닦아야 한다. 임시 토출관을 이용하여 벽면에서 제거된 이물질은 관정 밖으로 배출해야 한다.

다) 임시 수중모터 펌프

임시 토출관과 연결된 적합한 규격의 임시 수중모터 펌프가 설치되어야 한다.

라) 관정 내부 공간 세척

기계적 세척으로 발생된 모든 이물질이 제거되어 관정 내부에 청수만이 남아있을 때까지 지하수를 배출해야 한다. 청수의 기준은 지하수 1리터 당 약 0.1 g 이하의 이물질이 남아있는 것을 의미한다.

5. 수리적-기계적-화학적 세척

가) 우물재생 설비

펌프와 패커가 구비된 기계적 우물재생 설비를 준비하여 설치한다.

나) 스크린 세척

관정 내부에 설치된 우물 스크린 구간 별로 각각에 대하여 설치 순서대로 세척한다. 1회 세척 구간은 1개 슬리브의 길이와 동일해야 한다. 세척기는 0.5m 단위로 움직이며 세척을 시행하며, 세척시간은 토사가 섞이지 않은 청수가 유입수가 발생할 때까지 세척한다.

다) 소독제 준비

관정에 적합한 용량의 소독제를 준비한다. 소독 이후 지하수의 반응 부산물과 전기전도도를 측정할 수 있는

측정장치를 휴대하도록 한다. 소독제는 적정한 용기에 담아 청수에 용해시켜서 사용하도록 하며, 사용 시에는 개별 소독제마다의 사용방법을 준수한다.

라) 소독제 주입

설치된 우물자재 구간 별로 각각에 대해 소독제 용액으로 세척한다. 주입량은 각 관정 적용구간의 용량을 기준으로 결정한다. 소독제 용액으로 세척된 구간의 길이와 세척 시간을 기록한다.

마) 배출수

소독 완료 후 소독기기를 철수한다. 배출수를 대상으로 전기전도도, pH 등을 측정하여 소독제 잔류물이 없다고 판단되면, 관정 내 지하수는 원수의 수질을 회복한 것으로 판단한다.

바) 처리 화학제

점검정비 현장에서 처리수 중화에 요구되는 모든 화학물질의 공급과 보관이 요구된다.

사) 배출수의 처리

배출수를 폐수로 처리하기 이전에, 산성물질이 용존되어 있을 경우에는 중화제로 처리하고, 환원제가 사용된 경우에는 용존된 코팅물질을 처리한다.

아) 배출수의 폐수처리

중화제 등으로 처리된 배출수는 폐수처리를 하며, 이 때 폐수 내 용존 물질은 1리터 당 1g을 넘지 않도록 사전에 중화처리 등이 이루어져야 한다.

6. 우물의 최종세정

가) 충전물 제거 설비 설치

우물 스크린 충전물 제거를 위해 장비를 설치한다. 수중모터 펌프가 패커 사이에 설치되어 있어야 하며, 충전물 제거장비의 길이는 두 개 패커 간의 길이(1.0m)와 동일해야 한다. 충전물 제거 장비는 1개 구간에서 충전물을 제거한 후, 0.5m 씩 끌어올려진다.

나) 충전물 제거

수중모터가 설치된 패커(패커간격 1.0m, 처리중첩구간 0.5m)를 이용하여 충전물의 완전한 제거(sand-free)가 이루어야 한다. 배출 시에는 유량과 수위를 분 단위로 기록하여야 하며, 시험결과를 테스트지에 기록하여 그림으로 표현하여야 한다. 배출수에 대한 전기전도도와 pH 등을 측정하여야 한다.

다) 공내 토사 배출

공내 잔류된 모든 토사를 적절한 펌프를 이용하여 배출해야 한다. 임시로 설치된 파이프를 이용하여 배출하며, 배출수 1리터 당 1g 이하의 토사가 배출될 때 까지 진행해야 한다.

라) 미세토사 제거

공내 미세토사 제거를 위한 펌프가 설치되어야 한다. 잔류 미세토사는 배출수 1리터 당 0.1g 이하이어야 한다.

7. 사후 조사

가) 양수시험 장비의 설치

양수량 측정을 위하여 양수시험을 시행할 수 있는 장비(수중모터펌프, 파이프 등)가 준비되어야 한다. 양수 시험으로 배출되는 지하수는 임시 파이프를 통해 배출되어야 한다.

나) 양수시험

점검정비 후 지하수 산출율을 확인하기 위한 양수시험을 실시한다. 배출 시 유량과 지하수위를 분 단위로 기록하여야 하며, 시험결과를 테스트지에 기록하여 그림으로 표현하여야 한다.

다) 수중TV 검층(수직, 수평방향 검층)

관정 전체 구간에 대하여 검층이 가능하며, 수평 및 수직 방향으로 공내 촬영이 가능한 수중TV 검층기가 준비되어야 한다. 특히 화면 규격 9.0×13.0cm의 비디오 카메라 테잎 또는 디지털 CD가 준비되어야 한다.

라) 우물 살균

적합한 살균제를 주입하고, 만약 관정이 먹는물로 이용될 경우, 먹는물 수질기준에 적합한지 공식적인 인가를 받아야 한다.

마) 점검정비 내역서

점검정비 내역(세척구간, 배출방법, 양수기간 등) 및 점검정비 동안 발견된 내역(배출된 토사의 양) 등 우물 재생 작업 중에 수행된 모든 내용을 일괄 정리한다.

제16장 연구시설-장비 현황

연구기간 중 도입한 장비는 「지하수 수질측정기(미국 Mount Sopris사의 QL40 FTC)」로서, 농림수산식품기술기획평가원의 농림축산식품연구개발사업으로 수행되는 “농어업용 공공관정 정비를 통한 지하수자원 추가 확보 방안 연구” 과제 중 농어업용 공공관정의 지하수 수질 검층을 위하여 구매되었다.

이 장비는 공공관정 공내에 주입되어 전체구간에 대한 지하수위, 전기전도도, 수온을 검층하는 종합검층장비로서, 대수층 및 지반상태에 대한 물리적인 정보를 획득하는데 사용된다. 이러한 정보를 이용하여 농어업용 지하수 관정의 노후화 원인 규명 및 관정주변 지하수 수리화학적 상태 규명이 가능하다.



그림 16-1. 지하수 수질측정기

구입한 시험장비는 관련규정에 의거 국가과학기술종합정보시스템(www.ntis.go.kr)에 시험장비 등록을 완료하였다(등록번호: NFEC-2016-02-207722). 구입 장비의 상세한 성능 및 규격은 다음과 같다.

- 성능 및 규격(performance and specification)
 - 길이: 0.78m
 - 직경: 40mm
 - 무게: 10kg
 - 압력 한계: 200Bar
 - 온도 한계: 80℃
- 센서 구성
 - 온도: 선형, 즉시응답이 가능한 준전도체(semi-conductor)
 - 전기전도도: 7개 금속링(steel ring)으로 구성된 웨너 배열(Wenner array)

- 측정범위
 - 수온: -20~80℃
 - 전기전도도: 50~30,000 μ S/cm
- 정확도(accuracy)
 - 수온: 0.01℃
 - 전기전도도: 0.5%FSR
- 해상도(resolution)
 - 수온: 0.0038℃
 - 전기전도도: 0.5%FSR

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	코드번호		D-10	
					구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치장소)	NTIS장비 등록번호
한국농어촌공사 농어촌연구원	지하수 수질측정기	QL40 FTC	1	2015. 08.25	9,570	시애틀와이 (063-902-0237)	휴대용 (농어촌 연구원 보관)	NFEC- 2016-02- 207722

전술한 장비의 성능 및 기타 규격은 유사제품에 비해 우수하며, 대수층 수질검증을 위해 최적화 되어 있다. 이에 따라, 지하수 관정을 대상으로 수직 검층(profiling)을 통한 해당 심도별 수질측정 자료는, 향후 문제가 되는 심도구간을 집중적으로 세척하기 위한 주요정보를 제공할 수 있다. 또한 관정 주변 대수층 내에서 지하수가 유동하는 주된 유로(암반관정의 경우에는 파쇄 균열대 구간)를 확인하는데 적극 사용되며, 나아가 해안 및 도서지역 공공관정의 경우 해수침투 현상 및 해수빼기 발생 심도 등을 확인하는 데 사용될 수 있다.

제17장 연구실 안전관리 이행실적

연구과제 수행 시 주위환경에 대한 위험요소의 사전제거를 위한 안전사고의 예방, 사고발생 시 피해를 최소화하여 안전한 연구환경 조성, 안전관리의 중요성과 경각심 제고 및 이를 통한 직원의 안전 보호를 위하여, 연구과제 책임자의 주관 하에 안전관리 특별교육을 실시하였다(그림17-1),〈그림 17-2〉.

1. 교육명: 안전관리 특별교육
2. 일시 및 장소: 2015.10.12.(월), 농어촌연구원 3층 회의실
3. 교육자: 연구책임자 송성호 수석연구원
4. 교육내용: 안전관리 관련 규정, 안전사고 예방교육 등
- 산업안전보건법, 한국농어촌공사 안전관리규정, 환경지질사업 관리지침



그림 17-1. 안전관리 특별교육 내용 설명



그림 17-2. 안전관리 특별교육 질의응답

제18장 연구개발결과의 대표적 연구실적

이 연구에서 개발한 대표적 연구실적 6건은 논문게재 4건, 특허출원 2건으로 아래와 같다.

번호	구분 (논문/특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/ 인용횟수 등)
1	논문	농어업용 공공관정 기능진단 표준화(안)을 이용한 최적 사후관리	1)	제1저자	지하수 토양환경	-	2016.08.01	단독사사	
2	논문	농업용 관정의 기계적 처리 이후 성능 개선 효과의 정량적 평가 사례	1)	제1저자	지하수 토양환경	-	2016.08.01	단독사사	
3	논문	양식장 용수 추가 확보를 위한 수압파쇄 적용성 평가	1)	제1저자	지하수 토양환경	-	2015.12.01	단독사사	
4	논문	지하수 부존지역에서 최적 지열에너지 활용방식 수치 모의	1)	제1저자	지질공학	-	2014.10.01	단독사사	
5	특허 출원	우물효율 개선효과를 고려한 원위치 지하수 관정 세척 시스템과 그 세척 방법	1)/2)		대한민국	-	2016.05.26	-	
6	특허 출원	원위치 수두 연동형 우물 세척 장치 및 그 방법	1)/2)		대한민국	-	2016.05.26	-	

1) 한국농어촌공사 농어촌연구원, 2) 씨앤에치아이엔씨(주)

제19장 종합결론

최근 기후변화에 수반된 가뭄빈도 증가와 함께 농업환경이 논 농업 중심에서 시설농업으로 급격하게 진행됨에 따라, 농어촌지역 지하수는 고부가가치 작물 생산에 필요한 주요 수자원으로서 경제적 가치가 증가하고 있다. 이러한 농어업용 지하수의 경제적 가치는 지하수를 생산하고 있는 공공관정의 선량한 유지·관리에 따라 영향을 받는데, 지금까지의 지하수 관정에 대한 정비는 주변 대수층의 상태에 대한 정확한 진단 결과와 관계없이 지하수법에서 제시된 사후관리 주기에 따라 일상적인 유지 및 관리 형태로 시행하고 있다. 또한 관정이 개발된 이후 적절한 유지·관리 미시행으로 인한 관정의 수량 및 수질에 문제가 발생하는 경우에도, 체계적인 유지·관리 절차의 미비로 효율적인 사후조치가 이루어지지 못하고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 최적 관정정비(사후관리)를 위한 표준화된 기능진단 실시요령(지침서)을 마련하고, 개별관정의 특수성을 고려한 각 관정별 맞춤형 진단(관정의 규모, 용도, 토출량 및 효율저하 원인) 방안 제시 및 이를 통한 농어업용 공공관정의 최적이용 방안을 도출하고자 하였다. 이를 위하여 공공관정 진단, 수량·수질 저하 원인 분석 및 실제 관정에 대한 현장실험을 통하여 진단방법(지침서)의 적용성을 분석하였다. 분석 결과를 토대로 상시 유지·관리를 위한 원위치 관정정비 기술 개발을 통한 선량한 공공관정의 상시 유지·관리 방안을 제시하였으며, 공공관정 위탁관리 방안 및 공공관정 표준지침서(안)을 제정하여 농어업용 공공관정의 최적 관리를 위한 구체적인 대안을 제시하였다. 이를 기초로 최종적으로는 전국에 산재된 약 27,000개소의 농어업용 공공관정에 대하여 과학적이고 체계적인 관리방안을 도출하였다.

첫 번째 과정으로 관련 법적 시행근거 분석 결과를 토대로, 현장에서 난립되어 시행중인 관정 점검정비 방법(기계적, 화학적 방법)을 분석하였다. 또한 특허청 특허검색을 통한 유사 국내특허(29건)를 검토하여, 각 방법의 장단점을 분석하였다. 이를 통하여 공공관정 기능저하 원인을 크게 두 가지(유지관리 불량에 따른 노후화(시설물 훼손 및 설비고장)와 지하수 이용에 따른 노후화(충전 및 부식))로 분류한 결과를 객관적으로 확인하였다. 또한 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 관정 중 현재 운영 중인 1,380개소를 대상으로, 2001년 이후 관정정비 실적 결과를 기초로 각 관정별 기능저하 원인과 보수현황 자료를 분석하였다. 이를 통하여 유지관리 불량, 광물질 충전 및 미생물 충전 등 세가지 대표적인 원인으로 구분되었으며, 이로 인한 문제점으로 관정 작동 불능, 양수량 감소 및 양수량 감소/수질 불량으로 분류된 관정의 비율이 각각 1.5%, 8.2% 및 5.9%로 나타났다.

최적의 사후관리 방법 적용을 위해, 공공관정 기능진단 표준화(안)을 수립하였다. 공공관정 기능진단 표준화(안)은 ① 기본진단(문헌조사, 이용실태조사, 보고서 작성), ② 세부진단(문제점 분석, 세부진단, 보고서 작성), ③ 점검정비(관정세척) 및 ④ 유지관리의 4단계 진단과정으로 이루어지며, 각 진단방법에 대한 시행방법은 본문에 상세히 수록하였다. 이 중 유지관리 과정과 관련하여, 본 연구에서는 상시 유지·관리를 위한 원위치 관정정비 기술과 관련한 2건의 특허기술을 개발하여 출원하였다.

본 연구에서는 다양한 관정정비 효과의 정량적 평가 기술을 현장에 적용하기 위하여, 기능이 저하된 16개 공공관정에 대하여 정비공법별로 수량 및 수질 개선효과를 정량적으로 평가하였다. 이를 위하여 일차적으로 한국농어촌공사(1997; 2005)에서 현장시험이 수행된 4개소의 공공관정에 대한 다양한 시험결과를 분석하였다.

이들 4개소 공공관정의 경우에는 우물세척을 위한 기계적 처리 방식으로 에어써징 방법을 적용하였다. 이때 사후관리 전·후 단계양수시험으로 우물효율 개선 평가 및 관정별 수질개선 정도를 해석하였으며, 수질과 수량에 대한 복합 해석으로 충전 및 부식 현상의 원인을 규명하였다. 우물효율 증가는 개발 후 경과년수와 관련되며, 개발연도가 오래된 관정일수록 우물효율 개선정도가 크게 나타남을 확인하였다. 경과년수에 영향을 주는 주된 요인은 부유물질, 유기물 등 유입 등으로 분석되었으며, 수량 감소 원인은 충전 및 부식에 따른 수질저하와 직접적인 상관관계를 보였다. 본 현장실험 결과를 토대로 관정 사후관리 우선 순위 결정이 가능한 것으로 나타났으며, 수질검사 및 현장 토출량 점검 결과만으로도 간접적인 관정별 기능저하 원인 추정이 가능할 것으로 분석되었다.

다양한 관정정비 공법별 공공관정 개선능 평가를 위하여, 총 12개소 관정에 대하여 5가지 정비공법(에어써징, 고전압 펄스 방전, 파워 버블, 브러싱, 워터 제트)을 적용하였다. 공법별로 공통적으로 관정정비 전·후 대수층 수두손실 계수는 유사하였으나, 우물 수두손실 계수는 다소 감소하여 공법 적용 이후 공통적으로 투수성이 높아진 것으로 나타났다. 또한 수중TV 검층 결과, 전반적으로 공법 적용 이후 스크린 구간의 침전물 제거 뿐만 아니라 공내 탁도 및 부유물이 감소된 것으로 나타났다. 수질검사 결과, 공법 적용 이후 탁도는 대부분 감소되었지만, 이온 및 중금속 물질 저감이 크지 않아 수질개선이 동반된 관정정비 기술의 도입이 필요한 것으로 나타났다.

현장적용 결과를 기초로 대수층 특성이 유사하고 개발된 시점이 비슷한 대표적인 3개소 공공관정에 대하여 기계적 처리 방법(파워 버블, 고전압 펄스 방전, 에어써징) 적용 결과를 분석하였으며, 관정정비 전후의 단계별 비수위강하량 변화, 우물/대수층 수두손실 계수 변화 및 추가 확보 양수량 등 관정 성능 개선 효과의 정량적인 평가 결과를 제시하였다. 비수위강하량은 세 가지 방법 공통적으로 단계가 증가함에 따라 증가하였으며, 마지막 단계에서는 공내 세척 이전에 비해 $0.0027\sim 0.0029$ 일/ m^2 으로 약 9~14% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 3개소 공공관정 모두에서 세척 효과가 나타난 것으로 판단된다. 세척 효과를 정량적으로 판단할 수 있는 인자로 대수층 수두손실 계수를 계산한 결과 파워 버블 방법을 적용한 관정에서 감소 효과가 가장 뚜렷한 것으로 나타났으며, 고전압 펄스 방전 방법을 이용한 관정에서 가장 작은 것으로 나타났다. 그러나 우물 수두손실 계수는 고전압 펄스 방전 방법을 이용한 관정에서 가장 큰 반면 파워 버블 방법을 적용한 관정에서 상대적으로 작은 결과가 나타났다. 이는 파워 버블 세척 방식이 스크린 외곽의 여재와 대수층 구간까지 효과가 나타났기 때문이고, 고전압 펄스 방전의 경우 스크린 구간에 대한 수중 충격파 발생으로 인한 세척 효과가 극대화되기 때문으로 해석된다. 공내 세척 전후의 수위강하량 변화값과 공내 세척 이후의 비양수량 자료를 이용한 결과, 추가 확보 양수량은 전체 토출량 대비 8~16%로 나타났으며, 양수량이 상대적으로 적은 관정에서 처리 효과가 상대적으로 큰 것으로 평가된다. 그러나 현행 지하수법에는 사후관리 이후의 지하수 수량 증가 및 수질 개선 등 우물개선에 대한 정량적인 평가 기준 및 절차가 없기 때문에, 사후관리 작업에 대한 개선 효과를 판단할 수 없다. 따라서 본 연구에서 제시한 단계양수시험 결과를 참고하는 경우, 사후관리에 따른 우물 성능의 개선 및 추가 지하수 확보 수량을 정량적으로 계산할 수 있다. 이러한 결과를 이용하면 추가로 확보된 지하수 수량을 체계적으로 배분하여 최적의 농업정책 마련이 가능하며, 국내에서 활용되는 사후관리 공법의 맞춤형 적용에 참고가 가능할 것으로 판단된다.

농어촌지하수의 최적관리와 수자원으로서의 기능을 극대화하고자 농어업용 공공관정 최적관리를 위한 정비사업 체계화 방안을 고찰하였으며, 이를 위하여 ① 시·군 지자체 공공관정을 지하수조사전문기관으로 위탁·관리 방안과 ② 시·군 지자체 공공관정을 지하수조사전문기관으로 편입 추진 방안을 각각 제시하였다. 두 가지 방안 모두 공통적으로 시·군 지자체 및 지하수조사전문기관간의 협업이 필수적이며, 지하수조사전문기관의 관정관리의 전문성을 이용한 최적의 공공관정 유지·관리 및 관정 내역 정보화를 통해 상시 유지·관리를 목적으로 한다. 이용 목적별로는 한발대비 공공관정, 받기반 공공관정, 산간·오지 공공관정 등 특수목적별 공공관정에 대한 위탁관리를 통해 가뭄을 선제적으로 대응하고, 정보가 부족한 받 용수 목적의 지하수 일제 점검을 통해 물 복지 소외지역인 산간·오지 농어민에 수준 높은 청정용수 서비스를 제공하는 것이 포함된다.

과학적이고 표준화된 관정정비를 위하여 공공관정 중 노후화된 관정 및 기능이 저하된 시설을 대상으로 관정정비 표준지침서(안)을 개발하였다. 관정정비 표준지침서(안)은 관정정비를 3단계(점검정비 이전 수량·수질 평가, 점검정비, 점검정비 이후 수량·수질 평가)로 구성되었으며, 점검정비 종료 이후 법적 이행사항 추진(사후관리 이행신고, 사후관리 이행종료신고) 내용을 포함하였다. 표준지침서를 기준으로 관정정비를 시행하는 경우에는, 점검정비 이전과 이후의 시험내역(대수성 시험, 수질검사, 수중TV 검층 공중) 및 각 세부공종의 시험방법(시험시간, 분석항목, 검층 깊이 등)이 동일하게 진행되어야 한다. 이를 통해 점검정비 전·후 수량 및 수질변화를 분석할 수 있으며, 우물개선 효율 등에 대한 정확한 판단 및 향후 점검정비 시 추가로 필요한 내역 등의 분석이 가능하다. 양수능력 150m³/일 초과 공공관정에 대하여 점검정비를 시행할 경우, 점검정비 시행 전 「사후관리 이행신고서」를 시·군 지자체에 제출하고, 「사후관리 이행신고증」을 수령한다. 점검정비 종료 후에는 「사후관리 이행종료신고서」를 시·군 지자체에 제출하고, 「사후관리 이행종료신고증」을 수령한다. 수령한 사후관리 이행종료신고증은 지하수정보를 위해 농어촌지하수넷 등 웹사이트 등에 업로드하여 관리하고, 이를 토대로 매 5년 주기로 사후관리를 시행하도록 한다.

본 연구결과를 활용하면 전국 시·군 지자체 농어촌 용수구역에 약 27,000개소의 농어업용 공공관정에 대한 즉시 사업화가 가능하다. 실용화 사업을 위한 재원(안)으로는 농식품부 지특회계(지자체 공공관정) 및 농특회계(한국농어촌공사 공공관정)의 활용이 가능할 것으로 판단되며, 지하수조사전문기관으로 공공관정 정비사업 체계화가 이루어지는 경우에는 공공관정에 대한 공공사업화 추진이 즉시 가능할 것으로 전망된다. 공공사업화가 시행되는 경우에는 본 연구에서 개발된 표준지침서(매뉴얼) 내용을 기반으로 모든 공공관정에 대한 유지·관리가 가능하며, 이를 기초로 전국 모든 농어업용 공공관정에 대한 체계적이고 과학적인 관리가 가능할 것으로 기대된다.

이 연구의 결과는 농어업용 공공관정 뿐만 아니라 개인이 관리하는 관정까지 공통적으로 적용이 가능하지만, 향후 공공관정 개선 이외의 미신고 관정의 양성화 및 폐공(방치공) 발생 감소 등을 통한 지하수자원 추가 확보 방안에 대한 후속연구가 필요할 것으로 판단된다. 이러한 후속연구가 효과적으로 수행되면 미래의 풍요로운 농어촌의 청정 수자원으로서 지하수의 최적 유지·관리에 큰 기여가 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 국토교통부, 2014. 국토교통 통계연보, 951p.
- 국토교통부, 한국수자원공사, 2014. 지하수조사연보, 577p.
- 농림축산식품부, 2014, 농촌용수이용합리화계획.
- 농업기반공사, 2003. 지하수시설물 관리 방안 연구, 농업기반공사, 140 p.
- 송성호, 이병선, 안중기, 2016, 농업용 관정의 기계적 처리 이후 성능 개선 효과의 정량적 평가 사례, 지하수토양환경, 21(4), 42-49.
- 이병선, 김영인, 최광준, 송성호, 김진호, 우동광, 설민구, 박기연, 2014. 농어촌지하수 관측망, 지하수토양환경, 19(4), 1-9.
- 이병선, 송성호, 박정근, 원용천, 김원석, 2016, 농어업용 공공관정 기능진단 표준화(안)을 이용한 최적 사후관리, 지하수토양환경, 21(4), 36-43.
- 이진용, 송성호, 이강근, 2005. 단계양수시험 해석시 시간선택이 해석결과에 미치는 영향, 지하수토양환경, 10(2), 56-65.
- 정경재, 이석근, 당정증, 최길환, 황용석, 김철영, 박영준, 2013, 고전압 펄스 방전을 이용한 지하수 관정 스크린 공막힘 재생법 연구, 지질공학, 23, 29-36.
- 조운주, 이진용, 천정용, 전성천, 권형표, 2010, 순간수위변화시험, 단공양수시험 및 단계양수시험을 통한 수리상수 추정 연구. 지질공학, 20, 203-212.
- 최병수, 1998, 단공 양수시험에 의한 대수층조사 방법. 농공기술 60, 101-110.
- 최병수, 2007, 단공시험 해석에서 저류계수의 보정방법. 지하수토양환경, 12(3), 36-43.
- 통계청, 2016, 국가통계포털, www.kosis.kr
- 한국농어촌공사, 1997, 지하수관정의 적정관리를 위한 사후관리 방안에 관한 연구, 농림부, 358p.
- 한국농어촌공사, 2014. 시설농업단지 청정지하수 및 지하수열 공급방안 연구(최종), 221p.
- 한국수자원공사, 2011, 지하수 우물 재개발 및 관리 기술. 수자원의 지속적 확보기술 개발연구단 기술보고서 (TR 2011-31)
- 한정상, 1998, 지하수환경과 오염, 박영사, 서울, 274p.
- Allison, J.D., Brown, D.S., and Novo-Gradac, K.J., 1991, MINTEQA2/PRODEFA2, A Geochemical Assessment Model for Environmental Systems: Version 3.0 User's Manual, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/3-91/021, 106p.
- Ball, J.W. and Nordstrom, D.K., 1991, User's manual for WATEQ4F, with revised thermodynamic data base and text cases for calculating speciation of major, trace, and redox elements in natural waters, U.S. Geological Survey Open-File Report 91-183.

- Bierschenk, W.H., 1964, Determining well efficiency by multiple step-drawdown tests, International Association of Scientific Hydrology, Publication 64, 493-505.
- Charlton, S.R., Macklin, C.L., and Parkhurst, D.L., 1997, Phreeqci - A graphical user interface for the geochemical computer program PHREEQC, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4222.
- Cooper, H.H. and Jacob, C.E., 1946, A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history, American Geophysical Union Transaction, 27, 526-534.
- Driscoll, F. G., 1979, Ground Water and Wells, 257-260.
- Gass, T.E., Bennett, T.W., Miller, J., and Miller, R., 1980, Manual of Water Well Maintenance and Rehabilitation Technology, National Water Well Association, Dublin, Ohio, 247p.
- Gloffely, M.F., 1993, Analytical requirements for well rehabilitation, Water Well Journal, 1993 (March), 45-46.
- Hantush, M.S., 1959, Nonsteady flow to flow wells in leaky aquifers, Journal of Geophysical Research, 64(5), 1043-1052.
- Hantush, M.S., 1961a, Drawdown around a partially penetrating well, Journal of the Hydraulic Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineering, 87, 83-98.
- Hantush, M.S., 1961b, Aquifer tests on partially penetrating wells, Journal of the Hydraulic Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineering, 87, 171-194.
- Houben, G. and Treskatis, C., 2007, Water Well: Rehabilitation and Reconstruction, McGraw-Hill, N.Y. 391p.
- Jacob, C.E., 1947, Drawdown test to determine effective radius of artesian well, Proceeding of the American Society of Civil Engineering, 112, 1047-1070; Harlan, R.L., Kolm, K.E. and Gutentag, E.D., 1989, Water-Well Design and Construction, 205p.
- Jacob, C.E., 1950, Flow of ground-water, Engineering hydraulics, John Wiley, 321-386.
- Kruseman, G.P. and De Ridder N.A., 1991, Analysis and Evaluation of Pumping Test Data (2nd edition), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, 377p.
- Moench, A.F., 1984, Double-porosity models for a fissured groundwater reservoir with fracture skin, Water Resources Research, 20, 831-846.
- Moench, A.F., 1985, Transient flow to a large-diameter well in an aquifer with storative semiconfining layers, Water Resources Research, 21, 1121-1131.
- Roecoe Moss Company, 1990, Handbook of groundwater development, John Wiley and Sons, 493p.
- Rorabaugh, M.I., 1953, Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well. Proceeding of the American Society of Civil Engineering, 79, 23p; Harlan, R.L., Kolm, K.E., and Gutentag, E.D., 1989, Water-Well Design and Construction, 205p.

- Theis, C.V., 1935, The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, American Geophysical Union Transaction, 16, 519-524.
- Thiem, A., 1887, Verfahren für Natürliche Grundwassergeschwindigkeiten (Methods to evaluate natural groundwater velocities), Polyt Notizblatt, 42, 229p.
- Todd, D.K., 1980, Groundwater Hydrology, John Wiley & Sons, N.Y. 535p

자체평가의견서

1. 과제현황

				코드번호	D-15
		과제번호	114049-2		
사업구분	농림수산식품기술개발사업				
연구분야			과제구분	단위	
사업명	첨단생산기술개발사업			주관	
총괄과제			총괄책임자		
과제명	농어업용 공공관정 정비를 통한 지하수자원 추가 확보 방안 연구		과제유형	(기초, 응용, 개발)	
연구기관	한국농어촌공사 농어촌연구원		연구책임자	송 성 호	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2014.09.25.~ 2015.09.24	170,000	57,000	227,000
	2차년도	2015.09.25.~ 2016.09.24	170,000	57,000	227,000
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
	계	2014.09.25.~ 2016.09.24	340,000	114,000	454,000
참여기업	씨앤에치아이엔씨(주)				
상대국		상대국연구기관			

2. 평가일: 2016. 11.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
한국농어촌공사 농어촌연구원	수석연구원	송 성 호

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	--

1. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

• 본 연구에서는 과학적이고 체계적인 기술을 이용하여 농업용 지하수 관정정비를 통한 지하수자원 추가 확보 및 활용 기술 개발을 최종 목표로 설정하여, 다음과 같은 10가지 대표 연구성과를 이룩하였습니다.

1) 노후화에 따른 농업용 공공관정의 기능저하 원인 규명, 2) 관정 유형별 기능진단 방법 정량화 기술개발, 3) 법적 시행근거와 관련된 관정 정비기술 조사 및 분석, 4) 관정 유형별 기능진단 표준화(안) 제시, 5) 관정정비 효과의 정량적 평가 기술 개발, 6) 정비공법별 지하수 추가 확보량 정량적 평가 기술 개발, 7) 정비공법별 지하수 수질 개선 평가, 8) 공공관정 상시 유지관리 기술 개발, 9) 공공관정 정비사업 체계화 방안 제시, 10) 관정정비 표준지침서(안) 개발

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

- 고부가가치의 시설농업단지 급증에 따른 청정지하수 수요 증가를 대비한 과학적 관정 정비 기술 개발로 지하수자원 보전 기반의 추가 지하수 확보 정책적 기초자료 제공
- 농촌용수구역별 노후한 공공 지하수 시설물의 체계적 정비 기준 제시로, 청정지하수 수요에 따른 적기 지하수 공급 가능
- 농어촌지하수 최적관리정책 수립을 위한 표준화된 지침 개발

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

- 국내 사업화 추진: 약 27,000여개소의 공공관정 대상의 사업화(재원: 농식품부 지특회계(지자체 공공관정) 및 농특회계(한국농어촌공사 공공관정)로 공공사업화) 가능
- 해외 사업화 추진: 해외 후진국/개발도상국 수자원 조건불리 지역에 대한 기술 수출
- 시장개방 대비: 농업분야 전면적 시장개방에 대비한 표준화된 기술의 수입 대체 효과
- 관정정비 표준지침서 활용: 농업기반시설(지하수시설물)에 대한 관정정비 표준지침서 보급
- 비용절감: 농업용 공공관정 폐공 및 추가개발에 따른 소요비용 절감

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

- 연구결과 10여가지의 다양한 성과들은 향후 사업화 및 관련 연구결과의 파급을 위하여 국내외 학술지 및 학술대회를 통하여 지속적인 연구 성과 발표(전문학술지 4건 게재 및 국내·외 학술발표회 12건 발표, 학술대회 특별세션 개최 1건 및 기술 전시회 1건 개최)
- 연구성과의 사업화를 위하여, 원위치 관정정비 기술 특허 출원 2건 실적
- 향후 개발 기술의 정책화 및 사업화 추진을 위해 농림축산식품부 담당관에게 연구개발 단계별 성과 설명

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

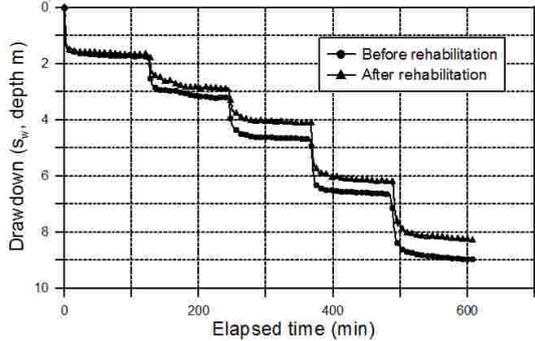
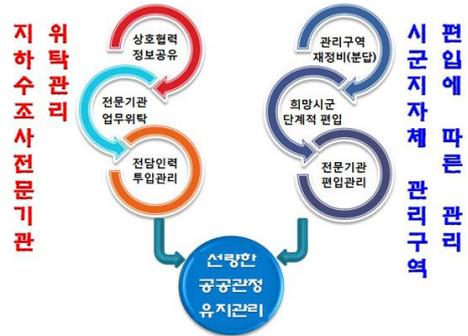
■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

- 연구결과 얻어진 다양한 결과들은 사업화 및 관련 연구결과의 파급을 위해,
 - 1) 특허출원 2건: 원위치 상시 관정정비 기술 개발 관련, 2) 논문게재 4건, 국,내외 학술발표 12건: 관정정비를 통한 추가 지하수확보 및 평가기술 개발 관련, 3) 언론홍보 7건, 4) 학술대회 특별세션 개최 1건, 5) 기술전시회 개최 1건 등의 활동 전개

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
관정 기능저하 원인 규명	10	100	(평가) 아래 실적으로 당초 목표를 달성함 1. 관정 노후화 및 기능저하 원인: 충전 및 부식 현상 2. 충전현상 세부원인 분석 3. 부식영향 요인 및 과학적 원인 분석 : 공공관정 노후화 원인 규명 : 공공관정 기능저하 원인 규명 : 관정 부식작용 영향 요인 분석 : 관정 부식의 일반적 특징 분석
관정 기능진단 방법 정량화	10	100	(평가) 아래 실적으로 당초 목표를 달성함 1. 기능저하 관정 정량적 진단방법 제시 : 공공관정 설계내역 분석 2. 공공관정 수량 및 수질 진단방법 정량화 : 추가 확보량 계산 방법 개발 등
관정 정비기술 조사 및 분석	10	100	(평가) 아래 실적으로 당초 목표를 달성함 1. 법적 근거를 고려한 관정유형별 기계적, 화학적 정비방법 적용 방안 제시 : 관련 법률 및 시행령 등 시행근거 분석 2. 관정 사후관리 관련 특허기술 분석 3. 공공관정 상시 유지관리 방안 제시

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
관정 기능진단 표준화(안) 제시	20	100	<p>(평가) 아래 실적으로 당초 목표를 달성함</p> <p>1. 관정 유형 및 기능별 표준화된 기능진단 기법(안) 수립 ⇒ 기본진단: 문헌 및 이용실태조사, 보고서 ⇒ 세부진단: 현장세부진단, 보고서 ⇒ 점검정비(사후관리) 시행 ⇒ 유지관리 진단 시행</p> <div data-bbox="884 568 1339 1151" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <pre> graph TD A[기본진단 문헌조사 이용실태조사 기본진단 보고서 작성] --> B{문제점 발견?} B -- 네 --> C[세부진단 문제점 분석(수량, 수질, 시설물) 세부진단 보고서 작성 점검정비(사후관리) 방법 제시] B -- 아니오 --> D[5년주기 정기 사후관리 시행 (지하수법 제9조의4)] C --> E[점검정비(사후관리) 관정 문제점 대비 최적 사후관리 방법 적용 (경제성, 민원 등 고려)] E --> F[유지관리 상시 유지관리 기술 적용] D --> F </pre> </div> <p>〈공공관정 기능진단 표준화(안) 흐름도〉</p>
관정정비 효율 정량 평가	30	100	<p>(평가) 아래 실적으로 당초 목표를 달성함</p> <p>1. 관정정비 효과의 정량적 평가 기술 개발 : 4개 관정 정비효율 현장실험 ⇒ 우물효율 증가는 개발 후 경과년수와 관련 (5년 경과) SH관정: 6~7% 효율 감소, YP관정: 1~3% 효율 증가 (10년 경과) SS관정: 22~32% 효율 증가, HW관정: 26~43% 효율 증가 ⇒ 경과년수에 영향 요인: 부유물질, 유기물 등 ⇒ 수량 감소 원인: 충전 및 부식영향 ⇒ 수질/수량평가로 관정 막힘 현상 분석 가능 ⇒ 관정 사후관리 우선순위 결정에 활용</p> <div data-bbox="815 1760 1406 1962" style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div> <p>〈우물세척 전·후 최대토출량 증가〉</p>

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
관정정비 효율 정량 평가	30	100	<p>2. 공법별 지하수 추가 확보량 정량적 평가 : 12개 관정 5개 정비공법별 현장실험 ⇒ 우물효율은 약 2~11% 증가 ⇒ 비수위강하량은 단계 증가에 따라 증가 ⇒ 최종단계에서 공내 세척 대비 9~14% 증가 ⇒ 관정정비 이후 추가 확보량은 8~16% 증가 ⇒ 양수량 적은 관정의 효과가 큰 것으로 평가 ⇒ 파워 버블 및 고전압 펄스 방전 등 체계화 된 현장시험방법 필요</p>  <p style="text-align: center;">〈관정정비 전후의 수위강하량 변화〉</p> <p>3. 공법별 지하수 수질 개선 평가 ⇒ 총 23개 수질항목 선정 및 공법 전후 분석 ⇒ 탁도는 대부분 감소되었지만, 이온 및 중금속 물질 저감 크지 않음 ⇒ 수질개선이 동반된 사후관리 기술 개량 필요</p>
공공관정 정비 체계화 방안	20	100	<p>(평가) 아래 실적으로 당초 목표를 달성함</p> <p>1. 공공관정 상시 유지관리 기술 개발 ⇒ 원위치 관정세척 기술 개발: 특허출원 2건 ⇒ 공공관정의 상시 유지·관리 방안 제시</p> <p>2. 공공관정 정비 체계화 방안 제시 ⇒ 공공관정 관리기준 체계화 방안 ⇒ 이용목적별 유지관리 체계화 방안 ⇒ 지하수조사전문기관으로 관리 체계화</p>  <p style="text-align: center;">〈공공관정 정비사업 체계화 방안〉</p>

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
공공관정 정비 체계화 방안	20	100	<p>3. 관정정비 표준지침서(안) 개발</p> <p>: 3단계 점검정비 표준지침서 마련, 이후 법적 이행사항 추진</p> <p>⇒ 1단계: 점검정비 이전 수량, 수질 평가, 수중TV 검증 등</p> <p>⇒ 2단계: 점검정비 시행(우물세척, 관정내부 정비, 세척, 관정제원 측정, 부품 수리 및 교체 등)</p> <p>⇒ 3단계: 점검정비 후 수량, 수질 평가, 수중TV 검증 등(※ 우물개선능 평가)</p> <p style="text-align: center;"><공공관정 정비 및 평가 방법></p>
합계	100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 본 연구는 최근 고부가가치의 시설농업단지 급증에 따른 청정지하수 수요 증가를 대비하기 위한 방법으로, 과학적 관정 정비 기술 개발로 지하수자원 보전 기반의 추가 지하수 확보의 정책적 기초자료 및 사업화 방안을 마련하기 위하여 수행되었습니다.
- 이러한 목표를 이룩하기 위하여 10가지의 세부목표를 설정하였으며, 다음과 같은 대표적인 연구 성과를 달성하였습니다.

1) 노후화에 따른 농어업용 공공관정의 기능저하 원인 규명, 2) 관정 유형별 기능진단 방법 정량화 기술개발, 3) 법적 시행근거와 관련된 관정 정비기술 조사 및 분석, 4) 관정 유형별 기능진단 표준화(안) 제시, 5) 관정정비 효과의 정량적 평가 기술 개발, 6) 정비공법별 지하수 추가 확보량 정량적 평가 기술 개발, 7) 정비공법별 지하수 수질 개선 평가, 8) 공공관정 상시 유지관리 기술 개발, 9) 공공관정 정비사업 체계화 방안 제시, 10) 관정정비 표준지침서(안) 개발

- 이러한 연구 결과를 활용하는 경우 약 27,000여개소의 공공관정을 대상으로 사업화(재원: 농식품부 지특회계(지자체 공공관정) 및 농특회계(한국농어촌공사 공공관정)로 공공사업화)가 가능할 것으로 판단됩니다.
- 또한 관정정비 표준지침서로 활용하기 위하여, 농업기반시설(지하수시설물)에 대한 관정정비 표준지침서로 보급할 계획입니다.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

• 해당없음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

1. 사업화 추진

- 국내 사업화 추진: 약 27,000여개소의 공공관정 대상의 사업화 가능
- 해외 사업화 추진: 해외 후진국/개발도상국 수자원 조건불리 지역에 대한 기술 수출

2. 시장개방 대비: 농업분야 전면적 시장개방에 대비한 표준화된 기술의 수입 대체 효과

3. 관정정비 표준지침서 활용: 지하수 시설물에 대한 관정정비 표준지침서 보급

4. 대농어민 서비스 제고

- 비용절감: 농업용 공공관정 폐공 및 추가개발에 따른 소요비용 절감
- 용수확보: 개발 기술을 전국의 공공관정에 적용, 추가 지하수 확보 및 지하수 수질 개선
- 상품화: 관정특성에 맞는 우물세척, 효율 개선능 평가, 추가 확보량 평가 기술, 수질·시설물 진단 평가 방법 등이 종합된 통합 서비스 상품 개발

IV. 보안성 검토

1. 연구책임자의 의견

이 연구수행 과정에서는 참여연구원, 연구수행관련 연구시설, 연구내용 및 성과물의 대외 발표 시 보안조치를 실시하고 있다. 특히 이 연구에서 개발된 다양한 연구 성과 중 기술권과 관련된 사항들은 성과 획득 시 관련 학술지에 계속적으로 투고하여 연구성과에 대한 기술유출을 방지하고자 한다. 또한 기타 중요 보안사항은 보안관리지침에 따라 보안유지에 최선을 다하고 있다.

2. 연구기관 자체의 검토결과

본 연구기관은 정부투자기관인 공기업으로 각종 연구시설에 대한 보안은 자체 보안 시스템을 이용하여, 정기적인 보안사고 예방에 중점을 두고 있으며, 연구 종료 후에도 이와 관련된 보안 사고에 대해 지속적인 조치를 취할 예정이다.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술사업의 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발 사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개 하여서는 아니됩니다.