

농어업용 공공관정 기능진단 표준화(안)을 이용한 최적 사후관리

이병선¹ · 송성호^{1*} · 박정근² · 원용천² · 김원석³

¹한국농어촌공사 농어촌연구원

²씨앤에치아이앤씨(주)

³텍사스주립대학교 지질학과

Establishment of an Optimal Rehabilitation Process for Agricultural Public Wells by Applying Standardized Diagnostic Functions

Byung Sun Lee¹ · Sung-Ho Song^{1*} · Jeong-Keun Park² · Young-Cheon Won² · Wonsuck Kim³

¹Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

²C&H Inc

³Department of Geological Sciences, Univ. of Texas at Austin

ABSTRACT

Rehabilitation for low-yielding wells resulting in improvement on groundwater quantity and quality is considered to be the most economic and ecofriendly method against the increasing demand to groundwater due to frequent drought and the increase in numbers of agricultural complex for growing horticultural crops. This study suggests standard, stepwise diagnostic functions consisting of four steps (Basic inspection, Specific inspection, Rehabilitation, and Management) for an optimal management to the wells. Basic inspection can provide information on current groundwater quantity and quality compared with those on its initial stage. Specific-inspection based on hydrogeology can scientifically demonstrate causes of deterioration on groundwater quantity and quality. Results of specific inspection can suggest an optimal rehabilitation method to solve deteriorating problems including clogging and corrosion for the wells. After rehabilitating the wells, an assessment on groundwater quantity and quality would be conducted to identify the suitability of the applied method and improvement of the wells. A short-term, periodic management to the wells is considered as the key to save a public management budget. Suggested diagnostic functions can possibly induce sustainable supply of agricultural groundwater to the farm land and finally contribute the increase on rural household income.

Key words : Agricultural groundwater, Public wells, Diagnostic functions, Rehabilitation, Management

1. 서 론

기후변화에 따른 빈번한 기상이변에 따른 봄철 가뭄은 농업용수 공급 부족으로 이어져 우리나라의 대표적인 농산물인 벼의 초기생육에 문제를 일으킨다. 우리나라에 10년빈도 가뭄이 발생할 경우 국내 농업용 저수지 약 17,505개소 중 31개소(저류량 1,000만 m³ 이상)만 내한능력을 보유함에 따라 전체 논면적의 66%(520천 ha)가 피해를 입으며, 100년 빈도 가뭄이 발생하면 전체 농업용 저수지의 평균 저수율은 30% 미만으로 저수지에 의한 용

수 공급은 불가능한 것으로 나타났다(KRC, 2012). 지하수는 가뭄에 대한 가장 효과적인 대응 방안 중 하나로, 용수구역별 지하수 공급체계 구축은 가뭄 발생시에도 농업용수 공급이 가능함에 따라 농작물 피해를 최소화 할 수 있다.

최근 농업환경은 농어민 소득향상을 위한 방향으로 급격하게 전환됨에 따라 특용작물 등 고소득 작물생산이 증가 추세이다. 특히 과채류(오이, 호박, 참외, 수박, 토마토, 딸기), 엽채류(배추, 시금치, 상추, 양배추), 근채류(무, 당근), 조미채소(고추, 마늘, 파, 양파, 생강) 및 기타채소 등

*Corresponding author : shsong@ekr.or.kr

Received : 2016. 6. 10 Reviewed : 2016. 7. 4 Accepted : 2016. 7. 7

Discussion until : 2016. 10. 31

을 생산하는 시설농업은 지난 20년동안 3배 이상 지속적으로 증가하였다(KRC, 2014). 그러나 시설농업은 수질이 양호한 지하수 공급이 필수적임에 따라, 해당지역의 지하수 이용량은 증가 추세이다. 또한 비닐하우스의 수막을 이용한 동절기 시설농업 확대는, 지하수 과다이용에 따른 지하수 고갈 문제로 확대되는 추세이다. 실례로, 시설농업 지역이 밀집한 지역에 위치한 진주2 관측소(농어촌지하수 관측망) 지하수 수위는, 매년 동절기에 수막재배로 인해 지하수 수위가 평시에 비해 약 25 m 하강하는 추세를 보인다(KRC, 2015a).

기후변화에 따른 가뭄을 대응하고, 늘여가는 시설농업 지역의 지하수 수요에 부응하기 위해서는 상시 지하수자원의 확보가 필요하다. 이를 위해 가장 기본적으로 요구되는 것은 기설 농어업용 공공관정의 최적 관리, 정비 및 재생이용이라 할 수 있다. 농어업용 공공관정은 주기적인 관리가 이루어지는 경우 수명이 50년 이상으로 연장될 수 있으므로(Gass et al., 1980), 기설관정을 개보수하여 지하수를 공급하면 신규개발에 따른 소요비용 절감 및 지하수 자원 보전 효과도 얻을 수 있다. 따라서 궁극적으로 안정적인 농산물 생산과 농가소득 증대 기여뿐만 아니라 선진화된 미래농업의 기반 구축이 가능할 것으로 판단된다. 이 연구는 설치시기가 오래된 농어업용 공공관정에 대하여 과

학적이고 체계적인 기능진단 표준화(안)을 제시하고, 이를 이용한 최적의 사후관리 방안을 제시하는 것에 목적이 있다.

2. 농어업용 공공관정

2015년을 기준으로 우리나라 농어업용 공공관정은 총 27,926개소로, 농어촌지역(도)과 도시지역(특·광역시)에 각각 약 90%(25,054개소)와 약 10%(2,800개소)가 소재한다(Table 1). 농어촌지역(도)의 경우 경지면적이 넓은 경상북도, 전라남도, 경상남도 순으로 많고, 대부분의 지역이 도시화된 서울특별시에는 농어업용 공공관정이 없다. 관리주체별로는 시군지자체에서 26,542개소(95.0%), 한국농어촌공사에서 1,384개소(5.0%)를 각각 관리 중이다.

3. 관정 기능저하 원인

관정도 여타의 다른 농업기반시설과 마찬가지로 준공 이후로 시간경과에 따라 기능이 저하되며, 토출량 감소 및 수질악화 문제가 나타난다. 관정 기능저하의 원인은 크게 유지관리 불량에 따른 기능저하와 지하수 이용에 따른 기능저하로 구분할 수 있다.

유지관리 불량에 따른 기능저하는 크게 시설물의 훼손

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

Description	Total		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%



(a) Microbe clogging at screen within a well



(b) Sand colgging at surface of submerged groundwater pump



(c) Chemical precipitations on the pumping facilities

Fig. 1. Some selective causes on decreasing groundwater pumping rate.

(고의적 또는 자연적 파손)과 설비고장으로 분류할 수 있다. 첫째, 시설물 훼손은 관정 보호시설(양수장옥, 상부보호함 및 관정내장형 보호함) 및 전기 인입시설의 훼손이 대표적이다. 관정 보호시설은 외부로부터 충격(고의적 충

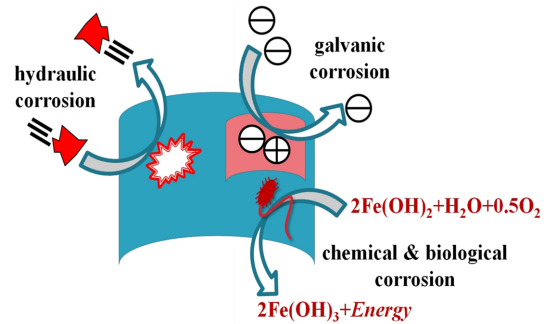


Fig. 2. Schematic view of corrosion occurring within a well.

격, 자연재해, 식물뿌리 인입 등)에 의해 파손되는데, 파손된 보호시설이 양수설비에 영향을 주지 않을 경우에는 지하수 이용에 크게 문제를 발생하지 않는다. 그러나 대부분의 경우 보호시설의 훼손은 전기 인입시설에 문제(전기선 단선, 전력량계 파손, 내부 전기패널 파손)를 발생시켜 수중모터 등 지하수 설비 운영이 불가능하게 되므로, 갑작스런 기능저하를 유발한다. 둘째, 설비고장은 수중모터 고장, 압상파이프 단락 내지 누수, 전기인입시설 누전 및 이에 따른 고장 등 시설물(양수설비 및 전기시설) 문제로 토출량이 감소되어 기능이 저하되는 것이 일반적이다.

지하수 이용에 따른 기능저하는 수량의 감소와 수질의 악화가 대부분 동시에 발생되는데, 이 두 가지는 서로 독립되어 나타나는 것이 아니고 서로 맞물려서 발생한다(KRC, 2003). 지하수 이용에 따른 기능저하는 충전현상 및 부식에 의한 기능저하로 구분할 수 있다(Houben and Treskatis, 2007). 첫째, 충전현상은 지하수 이용에 따라 원하지 않는 물질이 지하수와 함께 관정 내로 유입된 후, 파쇄 균열대 및 관정 스크린 주변에 화학적/미생물학적 침전이 발생하거나, 혹은 흡입된 세립자가 수중모터내로 유입되어 지하수 수량을 감소시키는 것을 의미한다(Fig. 1). 충전물질에는 부식산물, 침전된 광물, 사질이나 점토질의 입자, 미생물 등이 있다. 둘째, 부식에 의한 기능저하는 지하수 관정을 구성하는 케이싱, 소켓, 우물자재 연결부 금속물질, 수중모터 등 관정 내 금속물질이 산화작용에 의해 부식되어 수질을 악화시키고, 부식생성물이 스크린 등에 침전·충전하여 수량을 감소시키는 것이다. 관정 내에서 일어나는 부식은 수리적 부식(hydraulic corrosion), 화학적 부식(chemical corrosion), 동전기 부식(galvanic corrosion) 및 미생물학적 부식(microbiological corrosion)으로 구분된다(Fig. 2). 수리적 부식은 지하수에 포함된 여러 작고 마모성이 강한 입자들이 관정 내부 시설물과 충돌 및 마모로 발생된다. 화학적 부식은 지하수와 금속

성 자재사이에 일어나는 용해, 탄산화 작용, 가수분해 작용, 산화환원 작용, 수화작용 같은 화학반응에 의해서 발생한다. 동전기 부식은 수중 시설물을 구성하는 금속 중 상대적으로 활동적인 금속은 산화되어 부식작용이 일어나고, 상대적으로 비활동적인 다른 금속에는 환원되어 침전작용이 일어난다. 미생물학적 부식은 미생물의 촉매작용에 의해 발생되며 화학적 부식과 함께 고려되어야 한다.

재생이용 측면에서, 유지관리 불량에 의한 기능저하는 대부분 시설물 개보수 한 번만으로 간단하게 해결되어 재생이용이 쉬운 장점이 있다. 반면, 지하수 이용에 따른 기능저하는 단순 시설물 개보수로 해결될 수 없고, 체계적인 관정 기능진단을 통해 기능저하 원인을 분석하고, 최적의 재생방법을 도출하여 재생이용할 필요가 있다.

4. 관정 사후관리 제도 문제점

주기적인 농어업용 공공관정 점검정비를 통한 선량한 유지관리는 지속적인 지하수 관개수량 유지와 이로 인한 지하수의 경제적 가치의 증가로 이어진다. 농어촌정비법 제18조에서는 공공관정을 비롯한 농업생산기반시설의 선량한 관리를 위해 개보수 및 정밀안전진단을 규정하고 있고(Table 2), 지하수법 제9조의4에서는 취수량 150 m³/일 이상의 농어업용 관정에 대하여 매5년마다 주기적인 사후관리를 시행하도록 규정하고 있다(Table 3). 사후관리(rehabilitation)란, 관정개발 이후 이용과정에서 시설의 노후화 또는 관리부실로 인한 지하수 수량·수질에 대한 우려를 해소하기 위해 지하수개발·이용시설에 대한 일련의 보수·보강 작업을 의미한다(KRC, 2003; Kim et al., 2011; MOLIT, 2015). 사후관리 공종은 크게 지하수개발·이용시설의 청소, 검사 및 정비로 구성되며, 주로 공내세척, 부식된 관정시설물 교체, 전기시설 정비, 양수장옥 누수 보강 등이 해당된다.

그러나 현장에서 시행되는 사후관리 과정은 공공관정에 대한 표준화된 기능진단 없이, 대부분 (i) 수중모터 인양, (ii) 에어써징(air surging), (iii) 시설물 세척, (iv) 수중모터 재설치 순서로 획일적인 사후관리가 시행된다. 현행 법규상으로도 사후관리 전·후 우물효율 변화, 수질개선 여부에 대한 확인절차가 마련되어 있지 않아, 사후관리 이후 해당 관정이 얼마나 개선되었는지, 적용된 재생기술이 적합했는지도 평가하지 못하는 실정이다. 또한 사후관리에서 드러난 해당 관정의 수량·수질 문제에 대한 기록 자료의 부재는 관정이력 정보를 제공하지 못하여, 결국 다음번 사후관리시 또 한번 획일적인 에어써징을 적용하게 되는 결과를 초래한다. 그리고, 사후관리 우선순위 지정에 있어서도 사전 기능진단이 없다보니, 관정 기능저하 여부를 해당 관정을 주로 이용하는 농어민의 경험적 판단에 맡기는 경우가 많아서, 기능저하가 뚜렷한 관정이 후순위로 밀리거나, 긴급한 사후관리가 필요없는 관정임에도 우선순위가 되는 등의 행정적인 착오도 발생한다.

5. 농어업용 공공관정 기능진단 표준화(안)

농어업용 공공관정 기능진단(diagnosis functions)이란, 관정시설의 기능을 상시 유지·보전하기 위해, 관정의 물리적·기능적 문제점을 발견하고, 그 원인을 조사하며, 최적의 재생방법을 제시하여 관정 본래의 기능을 회복·개선시키는 일련의 과학적인 절차이다(MAFRA, 2001; KRC, 2011; KRC, 2015b). 이 연구에서 제시하는 농어업용 공공관정 기능진단 순서는 기본진단, 세부진단, 사후관리, 유지관리 순서로 진행한다(Fig. 3).

5.1. 기본진단

농어업용 공공관정 재생이용을 위해 가장 우선적으로 요구되는 점은 현재 해당 관정에 어떠한 문제가 있는지를

Table 2. Rehabilitation statement in Rearrangement of Agricultural and Fishing Villages Act

Act	Article	Description
Rearrangement of Agricultural and Fishing Village Act	(Article 18)	(1) Each agricultural infrastructure manager shall always manage the agricultural infrastructure in good faith and formulate a safety control plan of agricultural infrastructure, as prescribed by Presidential Decree.
	Management of Agricultural Infrastructure	(2) Each agricultural infrastructure manager shall take measures for the maintenance of agricultural infrastructure, repairing and mending of facilities, etc., and conduct a safety inspection and a thorough safety inspection in accordance with the safety control plan referred to in paragraph (1).
(omission of what follows)		

Table 3. Rehabilitation statement in Groundwater Act

Act	Article	Description
Groundwater Act	(Article 9-5) Post Management of Facilities for Development and Utilization of Groundwater, etc.	(1) A person, who develops and utilizes groundwater (hereinafter referred to as “person who develops and utilizes groundwater”) after obtaining permission, approval, etc. or making a report pursuant to this Act or other Acts, shall implement post management, such as the maintenance of facilities for the development and utilization of groundwater, in order to preserve groundwater quality, etc. (omission of interior parts)
		(4) Facilities subject to post management under paragraph (1), the purposes thereof, inspection interval and other necessary matters shall be prescribed by Presidential Decree.
Enforcement Decree of the Groundwater Act	(Article 14-4) Post Management, etc. of Facilities for Development and Utilization of Groundwater	(1) Post management under Article 9-5 (1) of the Act shall consist of the cleaning, inspection and maintenance of facilities for the development and utilization of groundwater. (omission of interior parts) (4) The size and purposes of facilities subject to post management under Article 9-5 (4) of the Act shall be as follows, and the inspection interval shall be two years: Provided, That the inspection interval of facilities falling under subparagraph 4 shall be five years. (omission of what follows)

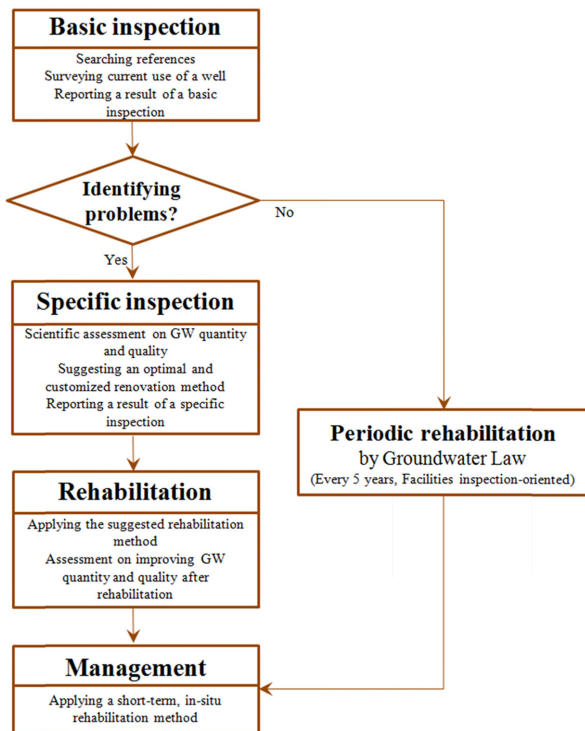


Fig. 3. A standardization approach for longstanding wells.

정확히 진단하는 것이다. 정확한 진단을 통해 적절한 사후관리 방법을 선택할 수 있고, 가장 경제적이고 효과적

인 관정기능 회복을 도모할 수 있다.

기본진단은 농어업용 공공관정 관련자료를 검토하고 현장에서의 이용실태조사를 통하여 관정의 상태를 판단하는 과정으로서, 문헌조사, 이용실태조사, 결과정리 순으로 진행한다. 기본진단 단계에서는 공공관정의 개발 당시의 문헌내용과 현재의 이용실태조사 내용의 비교에 중점을 두고 시행한다. 기본진단 결과, 개발당시(문헌조사)와 현재(이용실태조사)의 내역이 유사하다면, 공공관정이 선량하게 관리되고 있고, 특별한 문제점이 없는 것으로 판단할 수 있다. 이러한 관정에 대해서는 기본진단 단계에서 관정진단을 종료하고 정밀진단 단계를 거치지 않으며, 사후관리시행 우선순위에서 가장 후순위로 해당관정을 조정할 수 있다. 또한 기본진단만으로도 진단절차가 완료된 관정은 5년주기의 사후관리 시 시설물 점검정비를 위주로 시행하여, 양수시설 세척비용을 절감할 수 있도록 한다.

5.1.1. 문헌조사

농어업용 공공관정 진단을 위해서는 우선 해당 관정에 대한 문헌조사가 필요하다. 문헌자료는 시설물 자료, 대수층 자료, 기타자료로 구분될 수 있다. 초기 단계에서는 시설물 자료로서 농업기반시설등록부에 대한 조사가 필요하다. 농업기반시설등록부에 기재된 지하수 시설물 내역, 지

하수 수혜 물리구역 면적, 관정관리자 등을 확인하여 관정개발 당시 정보를 확보해야 한다. 인허가 관련 서류로서 지하수개발이용허가(신고)서, 사후관리이행종료신고증, 정기 수질검사 결과 등에 대한 확인도 필요하다. 그리고 대수층 자료로서, 지하수개발이용허가를 위한 보고서를 확보하여 관정 개발당시 시추주상도, 물리탐사 내역, 대수성 시험, 오염원분포 등이 포함된 내역 등을 확보하여야 한다. 마지막으로, 기타 자료로서 지형도, 지적도, 토지대장 등을 확인하여 관정 실제위치, 토지소유주 등을 확인하고, 과거와 현재의 주된 농산물 대비 지하수 이용량 등도 확인할 필요가 있다. 이러한 일련의 과정을 통해 공공관정 개발당시의 수량·수질, 주변 대수층 조건, 이용실태 등을 파악하고, 개발시에 드러난 문제점을 파악하여야 한다.

5.1.2. 이용실태조사

농어업용 공공관정 설치지점을 방문하여 문헌의 내용과 현재의 상태를 비교 분석한다. 수량의 경우에는 문헌에 기록된 내역(양수량, 허가(신고)량)과 현장에서 확인한 내역(관정 입간판에 기록된 내역, 현장에서 확인한 토출량)을 비교한다. 수질의 경우에는 현장수질특성(전기전도도, 수소이온농도, 탁도)을 측정하여 현재의 상태를 확인하는 것을 원칙으로 하되, 필요에 따라 시료를 채수하여 농어업용 지하수 수질기준을 토대로 분석할 수도 있다. 또한 지역주민들(관정관리자, 지역 농어민, 부락의 이장, 지자체 농업기반시설 담당 공무원 등)로부터 이용주기, 이용량, 이용상의 문제점 또는 수질만족도 등을 기록하여 관정이용성을 제고할 필요가 있다. 그리고 관정 외관시설, 전기시설, 배관시설 등의 내역이 문헌과 동일한지 확인하며, 파손이 발견될 경우 수리비용(교체비용)을 산정한다. 관정 시설물 위치 및 정확한 지번 파악도 추가적으로 필요하다. 이용실태조사를 위한 조사내역은 지하수업무수행지침서(MOLIT, 2015)의 「지하수 이용실태 현장조사표」 내역을 기초로 시행한다.

5.1.3. 결과정리

문헌조사 및 현장 이용실태조사 결과를 종합적으로 평가하여 기본진단 결과를 정리한다. 지하수법 시행규칙의 「지하수 이용실태 조사보고서(별지 제31호 서식)」를 기준으로 작성하되, 진단자의 진단결과 의견을 추가할 수 있다. 그리고 진단자의 의견을 객관화 할 수 있는 자료(인허가서류, 청문조사, 현장자료(수위, 토출량, 전기전도도 등) 및 사진 등)를 부록으로 첨부하는 것을 원칙으로 한다.

5.2. 세부진단

기본진단 결과 해당 공공관정이 지하수의 수량·수질에 문제가 있는 경우, 다음단계로 세부진단을 진행한다. 세부진단 결과는 해당관정에 대한 최적 사후관리 공법 선택 및 비용산출을 위한 자료로서 활용된다. 세부진단 순서는 기본진단 분석, 수량·수질진단, 결과정리 순으로 실시된다. 사후관리 우선순위 지정 시, 세부진단이 시행된 관정은 기본진단만으로 진단이 완료된 관정보다 우선 순위로, 수량·수질 문제가 드러난 관정을 전기시설물 및 기타 관정시설물 등에 문제가 발생한 관정보다 우선 순위로 지정한다.

5.2.1. 기본진단 분석

기본진단 결과 보고에 기록된 관정의 문제점을 검토하고, 해당 문제점을 수량 및 수질 문제로 세분화하여 구분한다. 이 후 세부 내역별로 수량·수질 진단을 실시한다.

5.2.2. 수량·수질 진단

수량 문제점 분석을 위해 대수성시험을 시행하고 그 결과를 분석한다. 대수성 시험은 단계양수시험과 장기양수시험으로 구분하여 실시하며, 단계양수시험은 4~5단계로 구분하여 동일한 양수량을 증가시키며 진행한다. 장기양수시험은 마지막 단계의 최대수량으로 16시간 이상 시행한다. 이로부터 최대토출량, 비수위강하량, 우물 및 대수층 수두손실 계수, 우물효율, 투수량계수 등을 산정 후 문헌조사 내역과 비교하여 개발당시에 비해 얼마만큼 수량적인 측면에서 양수효율이 감소했는지 판단한다. 최근에는 단계양수시험 결과로부터 추가 확보 양수량을 평가하는 방법이 제시된 바 있다(Song et al., 2016). 암반관정에서 파인양수에 따른 지하수 고갈은 수량부족의 근본적인 문제이다. 따라서, 개발당시 시추주상도에 기재된 투수 구간(균열면 위치)과 비교하여 지하수 수위가 어느 심도에 위치하는지에 대한 조사가 우선적으로 필요하다. 만약 양수를 하지 않음에도 불구하고, 기록된 투수구간보다 지하수 수위가 저하되어 있고, 투수구간으로부터 공벽을 통해 지하수가 공내로 흘러내리는 것이 확인되지 않는다면 해당 암반관정 주변의 지하수가 고갈된 것으로 판단 가능하다. 공벽을 통해 유입되는 지하수가 발견될 경우, 상부 케이싱의 손상 등을 통한 총적층지하수의 유입인지도 파악하여야 한다. 왜냐하면, 총적층지하수는 항구적인 수량을 제공하지 못하기 때문에 암반지하수 수량과는 구분되어야 하기 때문이다. 이러한 조사를 통해 수량 부족의 원인이 지하수 고갈에 근거한 것이 아니라 판단된다면, 이

후 수량부족의 문제가 관정 내부 이물질 충전에 따른 문제인지, 소유역 지하수자원의 고갈의 문제인지를 확인한다. 이를 위해 양수시설을 인양하고 24시간 이상 정치 후 관정 내 수중TV 검증을 시행한다. 녹화된 검증파일에서는 이물질이 상세히 보일 수 있도록 해상도를 최대한 높여 기록하며, 수중TV 검증시 공벽에 체적되어 있는 이물질 등의 심도를 세부적으로 기록한다.

수질 문제점 분석을 위해, 장기양수시험 시 지하수 시료를 채수하여 수소이온농도(pH), 산화환원전위, 수온, 전기전도도, 용존산소 등을 현장에서 기록하고, 3시간 이내에 시도보건환경연구원 등 국가에서 지정한 먹는물 수질 검사기관에 의뢰하여 분석(채수-보관-분석에 관한 정도관리 시행)한다. 분석항목은 농어업용 지하수 수질항목을 기본적으로 분석하되, 진단자는 수질의 문제가 관정내부시설의 부식의 문제인지, 어떠한 침전물이 대수층과 우물자재에 침전되어 있는지, 외부 오염원 유입에 따른 문제인지를 파악하기 위하여, 추가로 분석항목(양·음이온(Na, K, Ca, Mg, Si, Cl, HCO₃, SO₄), 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 질산성질소, 암모니아성질소, 과망간산칼륨소비량, 철, 망간, 탁도, 색도 등)을 지정할 수 있다. 분석결과가 나오면 개발당시부터 최근까지 각 수질항목의 이력을 살펴보고 어떤항목의 수치가 오염기준에 근접하고 있는지, 그 원인은 무엇인지를 판단하여 기록한다. 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 산출할 수 있다. 이로부터 대수층 공극 및 우물자재 스크린 등에 어떠한 2차광물이 침전하여 충전될 수 있고, 이 침전물이

공내유입수량을 감소시키는 역할을 할 수 있는지 등을 추정할 수 있다.

5.2.3. 결과정리

지하수 수량, 수질에 대한 상세한 진단내용, 각각의 문제점과 원인에 대한 진단자의 의견을 수페이지 이내로 작성한다. 기본진단 결과보고 양식을 확장하여 수량 및 수질 문제점을 세부적으로 기록하되, 진단자의 의견을 객관화 할 수 있는 자료(대수성시험, 수중TV검증, 수질검사, 각종 모델링 자료, 관정시설물 검사 등)를 부록으로 포함하는 것을 원칙으로 한다. 그리고 진단결과에 따른 최적 사후관리 공법에 대한 진단자의 의견이 제시되어야 한다.

5.3. 사후관리

세부진단 결과 제시된 사후관리 공법을 적용한다. 사후관리 공법 적용시 기존 기술 및 특허 등 지적재산권을 검토하여, 해당 지적재산권의 침해여부를 사전에 검토한다. 만약, 세부진단 결과 여러 사후관리 공법이 제시되었다면, 경제성을 고려하여 저비용·고효율의 방법을 적용하되, 적용시 주변 소음, 분진 등에 따른 민원을 동시에 고려하여야 한다. 여러 공법 가운데, 국내에서 적용 중인 사후관리 기술로는 에어써징, 브러싱(brushing), 써지블록(surge block), 젯팅(jetting), 펄스 방전(pulse discharge), 버블클리닝(bubble cleaning), 발파(explosive) 등이 있다(KRC, 2015b). 사후관리에 적용된 공법, 시간, 현장시험 기록 등은 문서로 정리하여 관정 이력관리 및 차기 사후관리시 참고할 수 있도록 하여야 한다.

그리고 무엇보다 중요한 것은 사후관리 이후 우물의 개선여부를 평가하는 것이다. 세부진단의 수량·수질진단 방법을 사후관리 이 후에도 관정에 동일하게 적용하여 사

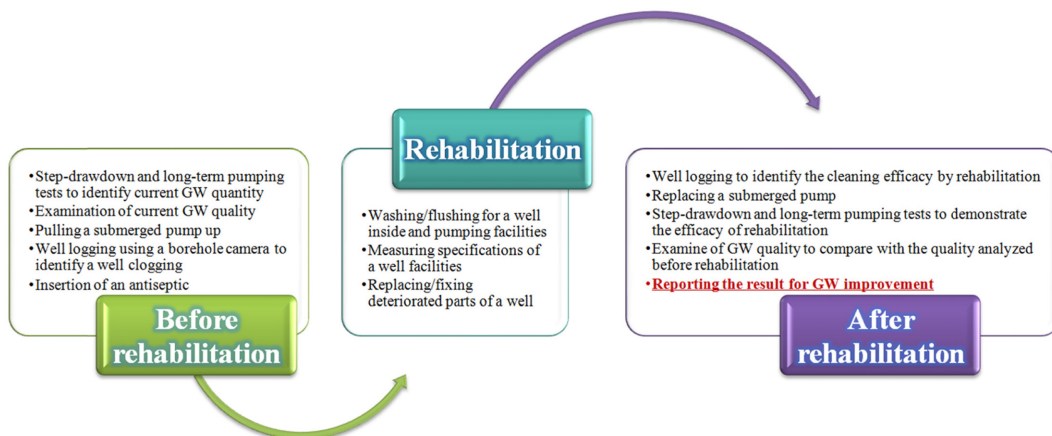


Fig. 4. An assessment on improving groundwater quantity and quality after rehabilitation.

후관리에 따른 개선정도(우물효율 개선 여부, 수질개선 여부 등)를 평가하여야 한다(Fig. 4). 세부진단 결과보고 내용과 비교하여, 수량적으로 비수위강하량, 투수량계수, 우물효율 등의 회복 및 개선여부, 지하수 추가 확보량 등이 분석되어야 한다. 문제가 되었던 수질항목의 원인규명 및 개선여부, 수질오염에 대한 향후 대책 등이 논의되어야 하며, 관정 내부 수중카메라 검층으로 관정 내 잔존물 제거 여부를 확인해야 한다. 그리고 적용된 사후관리 공법이 적합하였는지도 평가되어야 한다. 그리하여 사후관리 종료 후 시군지자체에 「사후관리 이행종료신고서(지하수법 시행규칙 별지 제24호 서식)」 제출 시 이러한 분석결과를 종합한 보고서를 첨부하여 제출하고, 차기 사후관리를 위하여 기록으로 보존할 필요가 있다.

5.4. 유지관리

관정은 사후관리 직후에 그 기능이 개발당시와 유사할 수 있지만, 시간 경과에 따라 다시금 기능이 저하되고, 기능저하율은 개별 관정마다 차이가 있다. 따라서, 상시 지하수 수량·수질의 선량한 확보를 위해, 법적 적용주기(5년/회) 외에도 짧은 주기로 점검정비를 실시하여 지하수 수량·수질을 일정하게 확보하여야 한다. 이를 위해 간단한 주입장치를 이용하여 고압 기체를 관정에 주입하는 등의 방법 등 짧은 주기(3개월 내지 6개월)로 관정의 유지관리가 필요하다. 이러한 유지관리에도 불구하고 급격한 기능저하가 발생한다면, 기능저하에 대한 최적 사후관리 공법을 다시 찾아 즉시 적용하거나 경제성을 분석하여 경제성이 없다고 판단되면 불용토록 한다.

6. 결 론

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 설치 시기가 오래된 기설 농어업용 공공관정에 대하여 과학적이고 체계적인 4단계(기본진단, 정밀진단, 사후관리, 유지관리) 기능진단 표준화(안)을 제시하여 농어업용 공공관정 재생이용에 활용토록 도모하였다. 지하수 재생이용과 농어촌 용수구역별 지하수 수리권을 과학적으로 맞물려 해석한다면, 가뭄대비 및 시설농업단지의 안전농산물 생산에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 농림축산식품부 첨단생산기술개발사업(과제번호 114049-2)의 연구비 지원으로 이루어졌다.

References

- Allison, J.D., Brown, D.S., and Novo-Gradac, K.J., 1990, MINTEQA2/PRODEFA2-A geochemical assessment model for environmental systems - version 3.0 user's manual: Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA, Athens, Georgia, 106 p.
- Ball, J.W. and Nordstrom, D.K., 1991, WATEQ4F-User's manual with revised thermodynamic data base and test cases for calculating speciation of major, trace and redox element in natural waters. U.S.G.S Open-File Report 90-129, 185 p.
- 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, 9 p.
- 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, 247 p.
- Houben, G. and Treskatis, C., 2007, Water well: rehabilitation and reconstruction, McGraw- Hill, N.Y.
- Kim, G.B., Choi, D.H., Park, J.H., and Hwang, K.S., 2011, Technology on rehabilitation and management of groundwater well. SWRRC Technical Report TR 2011-31, Sustainable water resources research program, 94 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2003, A study of appropriate management methods for groundwater facilities. Korea Rural Community Corporation, 140 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2011, A guide-book on management for groundwater wells, Korea Rural Community Corporation, 24 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2012, A white paper on drought, Korea Rural Community Corporation.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2014, A study on the supply plan of clean groundwater and groundwater heat for facilities in agricultural complex, Korea Rural Community Corporation, 221 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2015a, An annual report for rural groundwater monitoring network, Korea Rural Community Corporation, 121 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2015b, A post appropriate management of agricultural wells to gain additional

groundwater resources for irrigation (I), Korea Rural Community Corporation, 177 p.

MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2001, A guide book on development and use for groundwater wells and management for pumping facilities, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 50 p.

MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2015, A guide book to groundwater affairs. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 344 p.

Song, S.H., Lee, B.S., and An, J.G., 2016, Quantitative evaluation for improvement effects of performance after mechanical rehabilitation treatments on agricultural groundwater well, *J. Soil Groundw. Environ.*, **21**(4), 42-49.