

농어촌지하수 관측망

이병선¹ · 김영인¹ · 최광준² · 송성호^{1,*} · 김진호² · 우동광² · 설민구² · 박기연²

¹한국농어촌공사 농어촌연구원

²한국농어촌공사 지하수지질처

Rural Groundwater Monitoring Network in Korea

Byung Sun Lee¹ · Young In Kim¹ · Kwang-Jun Choi² · Sung-Ho Song^{1,*} · Jin Ho Kim²
Dong Kwang Woo² · Min Ku Seol² · Ki Yeon Park²

¹Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

²Groundwater and Geological Technology Office, Korea Rural Community Corporation

ABSTRACT

Rural groundwater monitoring network has been managed by Korea Rural Community Corporation (KRC) since 1998. The network consists of two kinds of subnetworks; rural groundwater management network (RGMN) and seawater intrusion monitoring network (SIMN). RGMN has been operated to promote a sound and sustainable development of rural groundwater within the concerned area for groundwater quality and quantity. SIMN has been operated to protect the crops against hazards by the saline water in coastal areas in which the shortage of irrigation water become a main problem for agriculture. Currently, a total of 283 monitoring wells has been installed; 147 wells in 79 municipalities for RGMN and 136 wells in 52 ones for SIMN, respectively. Two subnetworks commonly monitor three hydrophysical properties (groundwater level, temperature, and electric conductivity) every hour. Monitored data are automatically transferred to the management center located in KRC. Data are opened to the public throughout website named to be the Rural Groundwater Net (www.groundwater.or.kr). Annual reports involving well logging and hydrochemical data of RGMN and SIMN have been published and distributed to the rural water management office of each municipalities. In addition, anyone who concerns about RGMN an SIMN can freely download these reports throughout the Rural Groundwater Net as well.

Key words : Rural groundwater monitoring network, Rural groundwater management network, Seawater intrusion monitoring network

1. 서 언

국내 수자원 총량은 약 1,297억 m³/year으로, 이용되지 않고 유실되는 수자원량(증발산량, 하천을 통해 바다로 유실되는 양 등)을 제외하면 총수자원 이용량은 333억 m³/year이다(MOLTMA, 2011). 지하수조사연보(MOLIT, 2013)에 의하면, 지하수 이용량은 약 39억 m³/year으로서 총수자원 이용량의 약 11%에 해당된다. 용도별로 살펴보면, 농업용수(19억 m³/year), 생활용수(18억 m³/year), 공업용수(1.7억 m³/year) 및 기타(0.3억 m³/year) 순으로 이용된다. 지역별로 살펴보면, 농산어촌이 대부분인 시·군 지자

체에서 대부분(36.6억 m³, 94%)의 지하수를 이용하는 반면에, 특별·광역시 지하수 이용량은 2.4억 m³/year(6%)에 불과하다.

농어촌 지역에서 지하수 이용량이 높은 이유는, 농림수산업이 주를 이루는 국내 시·군 지자체의 산업적인 특성 때문이다. 특히 하천수, 저수지 등과 연계된 용배수가 발달되지 않은 농어촌 지역에서는, 지하수가 주된 농업 용수로 이용된다. 또한 최근 국내 농업활동이 고부가가치의 시설농업으로 전환됨에 따라, 수질오염에 취약한 저수지·하천수 등을 대체하여 양질의 수질을 보유한 지하수의 이용량이 증가 추세에 있다(Won et al., 2006).

*Corresponding author : shsong84@hanmail.net

Received : 2014. 2. 14 Reviewed : 2014. 4. 22 Accepted : 2014. 4. 23

Discussion until : 2014. 10. 31

그리고 상수도가 공급된 농가에서도, 상수도에 비하여 비용부담이 적은 천부 지하수 관정을 설치하여 이용하는 사례가 많아, 농어촌지역에서 생활용수로 쓰이는 지하수의 이용량 및 의존도는 도시지역보다 높은 편이다.

그러나 농어촌 지역으로 구성된 일부 지자체에서는 과잉 양수로 인해 지하수 이용량이 개발가능량을 상회하는 것으로 보고되어 수량 부족 우려를 나타내고 있다(MOLIT, 2013). 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 문제를 발생시키고, 농어업용수 부족의 원인이 될 수 있으며, 수질불량에 따라 안전농산물 생산에 타격을 입힐 수 있는 중요한 문제가 될 수 있다. 특히 도서·해안지역에서 과잉 양수가 발생하면 해수침투를 유발시켜 이용할 수 있는 지하수의 양이 감소하고 청정용수로서 지하수의 가치도 상실된다. 더욱이, 기후변화로 인해 예상하지 못한 가뭄 발생 시 농어촌에서 유일하게 대응할 수 있는 수자원이 지하수임을 고려할 때, 농어촌지하수의 수량·수질 보전을 위한 감시체계 구축은 필수적이다.

이에 따라, 농림축산식품부와 한국농어촌공사는 국가정책사업으로 지하수자원관리사업(2002~2021)을 시행 중이며, 이를 통해 지하수 과다사용이 원인이 되어 수량감시가 필요하고, 수질오염으로 장애가 우려되는 농어촌 용수구역 및 도서·해안지역에 농어촌지하수 관측망을 설치하여 농어촌지하수의 합리적인 개발·이용·보전을 도모하고 있다.

더불어, 우리나라 농어촌지하수의 체계적이고 과학적인

분석을 위해, 관심있는 연구자(그룹)에 관측자료를 제공하는 것을 목적으로 하여, 현재까지 관측자료를 이용한 도서·해안지역 해수침투 특성, 해수침투에 따른 지하수 수질 변화, 지하수 수위 변동에 따른 오염취약성 분석 등 다양한 연구가 수행된 바 있다(Lee and Song, 2007a, 2007b; Lee et al., 2008; Park et al., 2012; Song et al., 2007a, 2007b; Song and Zermansky, 2012).

2. 농어촌지하수 관측망

농어촌지하수 관측망은 농어촌지하수의 합리적인 개발·이용 및 보전·관리를 위해, 농어촌정비법 제15조(농어촌용수 이용 합리화 계획) 및 동법 시행령 제24조(농어촌용수구역), 지하수법 시행령 제27조(지하수 수위변동실태의 조사)에 근거하여 설치·운영 중인 농어촌지하수에 대한 고유목적 관측망이다(Table 1). 농어촌지하수 관측망은 농촌지역에 설치된 농촌지하수관리 관측망(Rural Groundwater Management Network, RGMN), 어촌지역에 설치된 해수침투 관측망(Seawater Intrusion Monitoring Network, SIMN)으로 구분되며, 2013년 12월 현재 전국 283개 지점(농촌지하수관리 관측망 147개소, 해수침투 관측망 136개소)에 설치·운영 중이다(Fig. 1; Table 2; KRC, 2013a, 2013b).

농어촌지하수 관측망이 농어촌지하수에 대한 고유목적으로 운영되는 반면에, 국토교통부와 한국수자원공사에서 운영하는 국가지하수관측망은 지역별, 수문지질단위별 지하수 수위변동, 수질오염 등을 관측하고 장애우려 지역에 대한 대책방안 마련 등 정책자료로 활용하기 위해 운영

Table 1. Laws related to management of rural groundwater management network (RGMN)

법	조문	내용
농어촌 정비법	(법 제15조) 농어촌용수 이용 합리화 계획 등	① 농림축산식품부장관은 농어촌용수의 효율적인 개발·이용 및 보전 등을 위하여 농어촌용수 이용 합리화계획을 세우고 추진하여야 한다. ② 농림축산식품부장관은 농어촌용수를 체계적으로 개발하고, 합리적으로 이용하며, 수질을 관리·보전하기 위하여 농어촌용수구역을 설정하여 운용할 수 있다.(후략)
	(시행령 제24조) 농어촌용수구역	(전략) ② 농림축산식품부장관 또는 시·도지사는 제1항에 따라 농어촌용수구역을 설정하였을 때에는 다음 각 호의 사항을 고시하여야 한다. (중략) 4. 농어촌용수의 관리와 보전에 관한 사항 (후략)
지하수법	(시행령 제27조) 지하수 수위변동 실태의 조사	① 국토교통부장관은 법 제17조제1항에 따른 국가관측망을 전국 지하수의 부존 특성 및 지하수의 이용실태 등을 고려하여 기본계획에 따라 설치하여야 하며, 국가관측망별로 매일 1회 이상 수위를 측정하여야 한다. 다만, 「농어촌정비법」 제15조에 따른 농어촌용수구역에서 농림축산식품부장관이 지하수 수위관측망을 설치하여 운영하는 경우에는 국가관측망을 설치하지 아니하고 그 지하수 수위관측망을 이용할 수 있다.(후략)

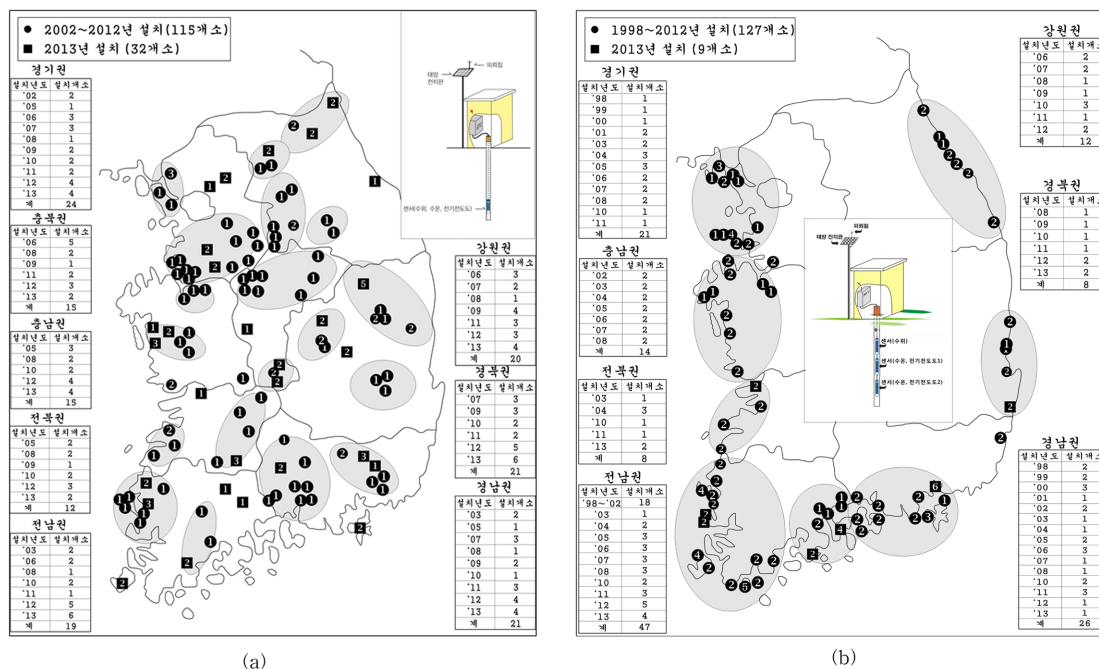


Fig. 1. Rural groundwater monitoring network, Korea. (a) Rural groundwater management network, (b) Seawater intrusion monitoring network (modified after KRC, 2013a; 2013b).

Table 2. A list of groundwater monitoring networks for individual governmental/civilian parties

관리주체	관측망	기능
농림축산식품부 (한국농어촌공사)	농촌지하수관리 관측망	<ul style="list-style-type: none"> • 2013년 현재 전국 농어촌용수구역별 147개소 (총1,056개소 계획) • 지하수 수위, 수온, 전기전도도 (24회/일) • 연1회 지하수 배경수질 측정 및 물리검층
	해수침투관측망	<ul style="list-style-type: none"> • 2013년 현재 전국 도서·해안지역 136개소 (총388개소 계획; 1단계 136개소, 2단계 252개소) • 지하수 수위, 수온, 전기전도도 (24회/일) • 연1회 지하수 배경수질 측정 및 물리검층
국토교통부* (한국수자원공사)	국가지하수 관측망	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 현재 전국 348개소 (총530개소 계획) • 지하수 수위, 수온, 전기전도도 (24회/일) • 연2회 지하수 생활용수 수질검사
	지역지하수 관측망	<ul style="list-style-type: none"> • 2010년 현재 전국 1,067개소 (총10,000개소 계획) • 자동관측 또는 수동측정 • 연1~2회 지하수 수질검사 또는 먹는물 수질검사
환경부* (지방환경청, 시도)	국가지하수 수질전용측정망	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 현재 배경수질전용측정망 58개소, 오염감시전용측정망 33개소
	지역지하수 수질측정망	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 현재 지하수수질측정망 1,241개소, 오염우려지역 지하수수질측정망 781개소 • 특정오염물질 15항목, 일반오염물질 5항목
민간*	먹는샘물측정망, 온천감시정	<ul style="list-style-type: none"> • 지하수 장애에 대비하여 지하수 수위 및 수질 관측

* 지하수관리기본계획(2012~2021)에서 발췌

중이며, 지역지하수관측망은 유사목적으로 시군구 지자체에 설치되어 운영 중이다(MOLTMA, 2012; Table 2). 환경부와 지방환경청 및 시도에서 운영 중인 지하수 수질측정망은 국가지하수 수질전용측정망과 지역지하수수질측

정망으로 구분되며, 지하수 배경수질 분석, 오염감시 등 수질환경목적으로 관측을 실시하고 있다(MOLTMA, 2012; Table 2).

Table 3. A list of rural groundwater management wells for each municipality (2013.12.31.)

광역시·도	시·군·구 수(관측공 개소)	시·군·구 명(관측공 개소)
계	79(147)	
경기	11(24)	화성(3), 평택(3), 이천(3), 광주(1), 김포(2), 여주(2), 파주(3), 용인(2), 가평(2), 안성(2), 남양주(1)
강원	11(20)	원주(3), 춘천(2), 횡성(1), 평창(2), 홍천(2), 양구(2), 화천(2), 고성(2), 인제(2), 횡성(1), 강릉(1)
충북	9(15)	음성(3), 제천(2), 진천(1), 괴산(1), 증평(1), 옥천(2), 영동(2), 보은(2), 청원(1)
충남	9(15)	아산(3), 공주(1), 금산(1), 논산(1), 부여(1), 서천(2), 보령(3), 청양(2), 홍성(1)
전북	9(12)	부안(2), 정읍(1), 순창(1), 장수(1), 고창(1), 진안(1), 무주(1), 남원(3), 익산(1)
전남	11(19)	무안(4), 보성(1), 장성(1), 회순(1), 장흥(2), 영광(2), 함평(3), 신안(1), 진도(2), 곡성(1), 순천(1)
경북	8(21)	영천(3), 상주(3), 안동(2), 청송(2), 문경(2), 안동(2), 봉화(5), 군위(2)
경남	11(21)	김해(3), 진주(3), 사천(1), 하동(2), 함천(1), 밀양(3), 거창(1), 거제(2), 창녕(2), 산청(2), 양산(1)

2.1. 농촌지하수관리 관측망

농촌지하수관리 관측망은 전국 464개 용수구역 중 농어촌 지역인 352개 용수구역에 설치·운영을 원칙으로 한다. 농어촌지하수의 고갈 및 오염, 기후변화와 관련된 가뭄 발생 등 각종 농어업 재해를 사전에 대비하기 위해, 각 관측소마다 원격감시 시스템을 설치하여 농어촌 암반지하수의 수온, 수위 및 수질(전기전도도)에 대한 장기 관측을 실시한다.

2002년 경기 화성시 2개소 설치·운영을 시작으로, 2003년에는 지반침하 문제가 발생한 전남 무안군과 경남 김해시에 각각 2개소씩 총 4개소를 추가로 설치하였다. 2004년에는 농촌지하수관리 관측망에 대한 장기설치계획을 수립하여, 2013년 12월 현재 총 147개소 관측시설을 운영 중이며, 2021년까지 추가 확대 운영할 예정이다 (Table 3).

광역시·도별 관측공 개소수 현황을 살펴보면, 경기(24개소), 경북(21개소), 경남(21개소), 강원(20개소), 전남(19개소), 충북(15개소), 충남(15개소), 전북(12개소) 순으로 설치되어 있으며, 서울·인천·부산·대전·울산·광주·대구·세종시 등 광역시 및 특별자치시에는 설치되어 있지 않다. 시·군 지자체별로 살펴보면, 경기, 강원, 전남 및 경남에는 공통적으로 11개 시·군, 충북, 충남 및 전북 9개 시·군, 그리고 경북 8개 시·군 지자체에 관측망이 설치되어 있다. 따라서 국토의 균형발전 측면에서 관측공이 설치된 지자체 개소수는 각 광역시·도마다 유사하지만, 관측공 개소수는 차이가 있다. 이는 주로 시·군 지자체별 농어촌 용수구역의 개소수의 차이와 관계가 있다. 예를 들어, 1개 시·군에 5개 용수구역이 포함된 경북 봉화군에는 5개의 농촌지하수관리 관측공이 설치·

Table 4. The number of wells installed annually for the monitoring network

농촌지하수관리 관측망		해수침투 관측망	
설치연도	개소수	설치연도	개소수
2002	2개소/년	1998	10개소/년
2003	4개소/년	1999	7개소/년
2004	-	2000	7개소/년
2005	7개소/년	2001	7개소/년
2006	13개소/년	2002	7개소/년
2007	11개소/년	2003	7개소/년
2008	10개소/년	2004	10개소/년
2009	13개소/년	2005	10개소/년
2010	11개소/년	2006	10개소/년
2011	13개소/년	2007	10개소/년
2012	31개소/년	2008	10개소/년
2013	32개소/년	2009	2개소/년
		2010	10개소/년
		2011	10개소/년
		2012	10개소/년
		2013	9개소/년
12년간	147개소	16년간	136개소

운영 중인 반면, 용수구역이 1개인 경기 광주를 비롯한 31개 지자체에는 단 1개소의 관측공이 설치·운영된다.

관측망 설치 추이를 살펴보면, 초기(2002~2005년)에는 연간 10개소 미만의 관측공이 설치되었으나, 2006년 이후부터 연간 10개소 이상의 관측공이 설치되었고, 최근 2년(2012~2013년)간 총63개소(전체 관측공의 약 43%)가 설치·운영 중이다(Table 4).

2.2. 해수침투 관측망

해수침투 관측망은 국내 도서·해안지역의 암반 지하수 대수층 내 해수침투 영향을 사전에 분석하여, 지하수

Table 5. A list of seawater intrusion monitoring wells divided by the placing location (coastal area or island) (2013.12.31.)

구분	개소수		도서지역		해안지역	
	계	소계	시군구(개소수)	소계	시군구(개소수)	
광역시도	136 (52시군구)	37	7시군구	99	45시군구	
경기·인천	21	8	인천강화(6) 인천옹진(2)	13	안산(4) 화성(4) 평택(2) 시흥(1) 김포(2)	
강원	12	-	-	12	강릉(2) 고성(2) 속초(2) 동해(2) 양양(2) 삼척(2)	
충남	14	-	-	14	서산(2) 홍성(2) 보령(2) 서천(2) 아산(2) 태안(2) 당진(2)	
전북	8	-	-	8	김제(2) 부안(2) 고창(2) 군산(2)	
전남	47	19	신안(6) 진도(6) 완도(7)	28	해남(2) 함평(2) 장흥(2) 보성(2) 광양(2) 순천(2) 여수(4) 영광(2) 무안(2) 강진(2) 영암(2) 고흥(2) 목포(2)	
경북	8	-	-	8	울진(2) 포항(2) 영덕(2) 경주(2)	
경남·울산	26	10	남해(6) 거제(4)	16	사천(2) 통영(2) 고성(2) 하동(2) 창원(6) 울산북구(2)	

Table 6. Depths and distances to the coast of seawater intrusion monitoring wells for each municipality (2013.12.31.)

광역시도	개발 심도(m)			케이싱 심도(m)			해안까지 거리(m)		
	계	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
평균	200	30	80	70	3	19	4,230	10	628
경기·인천	137	40	80	50	6	22	1,180	80	582
강원	121	50	79	50	5	20	2,520	30	703
충남	103	52	81	27	6	19	1,510	30	346
전북	150	60	79	36	10	21	1,450	70	673
전남	150	35	81	45	3	17	2,320	25	736
경북	110	30	64	36	6	25	1,850	100	750
경남·울산	200	31	83	70	6	20	4,230	10	538

의 무분별한 사용 금지, 염지하수로 인한 농작물 염해피해 방지 및 이를 통한 안전농산물 생산을 목적으로 한다. 전국 54개 도서·해안지역 시·군 지자체에 설치·운영을 원칙으로 하며, 필요한 경우 한강, 금강, 낙동강, 영산강 등 4대강 및 지류의 하구언에 접하여 조석에 의해 해수가 유입되는 시·군에도 설치·운영할 수 있다.

해수침투 관측망은 1990년 7월 해수침투 방지를 위한 관측망 설치 및 조사계획 수립에 의거하여, 1992~2000년 동안 제주도에 56개소(제주시 33개소, 서귀포시 23개소)가 설치되었다. 이 후, 제주도 56개소 관측망은 2000년 「제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법」에 따라 한국농어촌공사에서 제주도로 이관되어 운영되고 있다.

1998~2013년 기간 동안에는 육지부 도서·해안지역 52개 시·군에 136개소의 해수침투 관측망이 설치되어 운영 중이다(Table 5). 해수침투 관측망 개소수는 전남(47개

소), 경남·울산(26개소), 경기·인천(21개소), 충남(14개소), 강원(12개소), 전북(8개소), 경북(8개소) 순으로, 주로 도서지방이 많은 광역시·도에 상대적으로 많은 관측망이 설치되어 있다. 해역별로는 서해안 59개소, 남해안 55개소, 동해안 22개소로 구분할 수 있다. 해안길이가 길고 도서지방이 많은 서해안 해역에 해수침투 관측망이 다수 설치되어 있다. 도서지역 관측망은 7개 시·군·구 지자체에 37개소, 해안지역 관측망은 45개 지자체에 99개소가 설치되어 운영 중이다. 육지부 136개 해수침투 관측망의 케이싱 심도는, 전국 평균 해수침투 관측망이 설치된 지점의 퇴적층의 평균 두께인 19 m이다. 해수침투 관측망은 일반적으로 1개 지구 당 해안선 기준 근거리 1개소, 원거리 1개소를 설치하여 거리에 따른 해수침투 영향을 분석한다. 관측망과 해안선의 거리는 최대 4,230 m, 최소 10 m로 분석된다(Table 6). 관측망 설치하는 연간 7~10개소이다(Table 4).

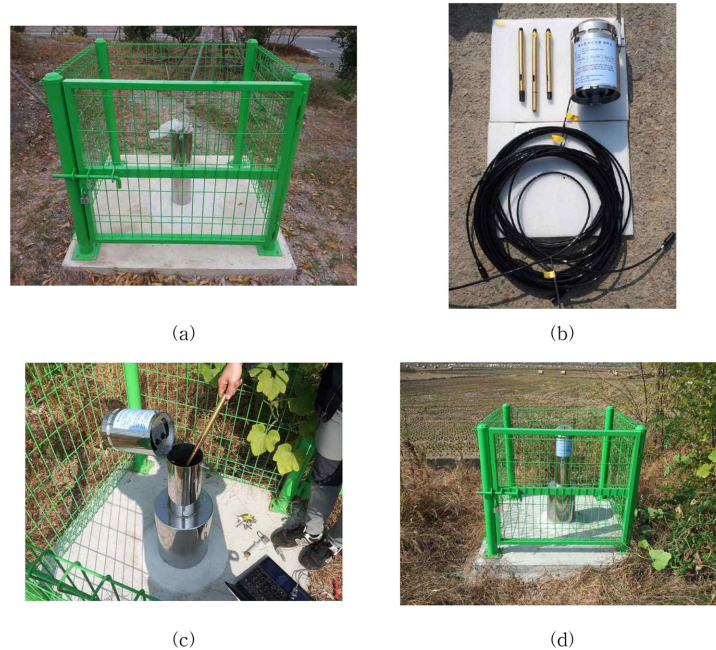


Fig. 2. A installing procedure of the monitoring wells. (a) Well development and placement of a safe fence, (b) preparation of the monitoring equipments (sensors, a remote terminal unit, and a cable), (c) placing the monitoring equipments, and (d) completing installation of the monitoring system (front view).

3. 관측시설

농어촌지하수 관측망의 관측시설은 관측공, 관측센서, 현장제어장치, 보호시설 등으로 구성된다(Fig. 2). 관측공은 해당지역을 대표할 수 있는 지점에 평균적으로 관직지름 200 mm, 관정 심도 60 m 이상으로 굴착된다(Fig. 2a). 관측대상 지하수는 암반지하수로, 충적층 구간은 케이싱을 설치하여 불포화대 내지 충적층 지하수의 유입을 방지한다. 더불어 보호시설(웬스)은 관측시설을 쉽게 인지하고, 외부 충격으로부터 관측시설을 보호하기 위해 설치된다(Fig. 2a). 이 후, 수심 150 m 이상의 압력에도 견딜 수 있는 방수구조의 관측센서, 센서로부터 관측자료(지하수 수위, 수온 및 전기전도도)를 수집하는 현장제어장치, 그리고 관측센서와 현장제어장치를 연결하는 케이블이 준비된다(Fig. 2b). 현장제어장치와 일체형으로 제작된 태양전지는 현장의 일조 환경과 시스템 총 소모 전력량을 기준으로 설계되어 설치된다. 현장제어장치는 경첩모양의 철물로 연결되어 관측공 최상부에 설치되며, 관측센서 케이블에 연결되어 관측공 내부 지하수 유량이 많은 주 균열면 위치에 설치된다(Fig. 2c). 주 균열면은 관측센서 설치 전에 시추공 주상도, 물리검층(자연감마검층 및 전기비저항 탐사) 및 관정 전구간 전기전도도 검층을 실시하여 확인된다. 이러한 과정을 통해 관측시설이 설치 완료된 후

자동관측이 시작된다(Fig. 2d).

일반적으로 농촌지하수관리 관측망에는 관측공 1개소당 지하수 수온 · 수위 · 전기전도도를 동시에 측정하는 센서 1대를 설치한다. 해수침투 관측망에는 일반적으로 총 3대(수위 센서 1대, 전기전도도 · 수온 동시측정 센서 2대)를 직렬연결(RS_485 통신방식 이용)하여 관정 내부에 다중심도로 설치한다. 측정센서는 전이대(담염수 경계부) 상부 담수영역에 수위 센서 1대, 전이대 중간부에 전기전도도 · 수온 동시측정 센서 1대, 그리고 전이대 하부 염수영역 중 지하수 유량이 많은 주 균열면 심도에 또 다른 전기전도도 · 수온 동시측정 센서 1대를 설치한다. 경우에 따라서는 1개 관정에서 여러 전이대가 발견되기도 하는데, 이 경우 두 번째 전기전도도 · 수온 센서는 2번째 전이대 심도에 설치한다.

현장제어장치는 센서로부터 매 1시간 간격으로 지하수 수위(m), 수온($^{\circ}$ C) 및 전기전도도(μ S/cm) 자료를 자동으로 수집하여 한국농어촌공사에 소개한 서버로 전송한다. 자료 전송은 CDMA 전용단말기를 이용한다. 전송장애 시에는 재전송이 가능할 때까지 자료를 임시 보관하며, 장애 복구 후에는 보관된 자료를 자동으로 전송한다. 현장 시설물 점검 시에는 실시간 측정 데이터를 노트북 컴퓨터로 연결하여 확인할 수 있다.

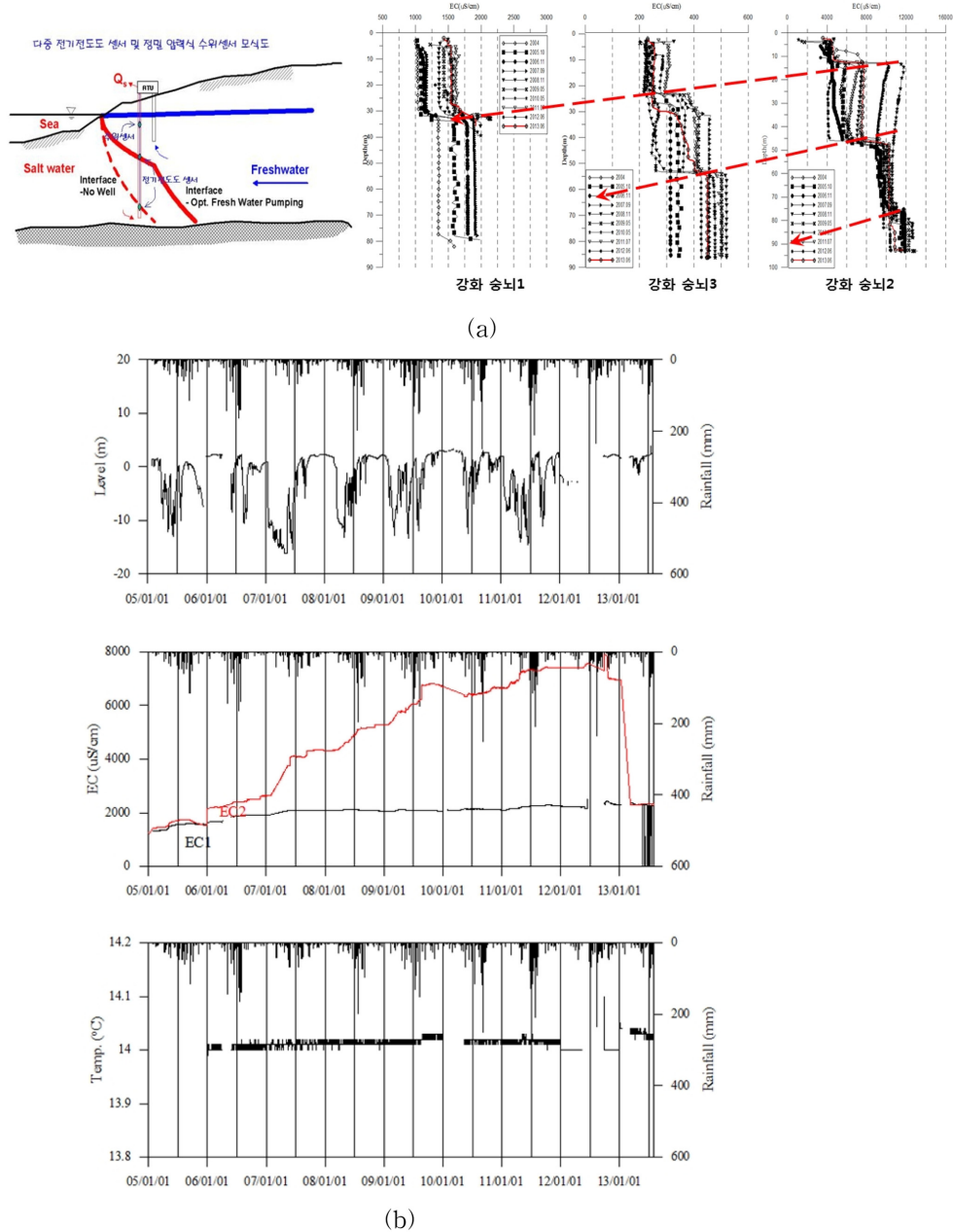


Fig. 3. Diagrams of (a) a well logging for electric conductivities and (b) annual changes of groundwater level, electric conductivity, and temperature.

4. 관측자료 : 농어촌지하수넷

각 지구의 관측시설에서 서버로 전송된 관측자료(수위, 수온, 전기전도도)는 일평균 값으로 환산되어 농어촌지하수넷(www.groundwater.or.kr)을 통해, 관련 농어민, 농어민단체, 시·군 지자체 공무원, 관련업계, 학계 등 농어촌지하수에 대해 관심있는 모든 개인·단체·기관에 제공된다. 또한 연차보고서로서 농촌지하수관리 관측망 보고서

와 해수침투조사 보고서를 분리하여 발간 중이며, 관련 시·군 지자체 및 유관기관에 정기적으로 보급하고 있다. 2종의 보고서에는 공통적으로 관측자료를 비롯하여, 매년 정기적으로 시행하는 각 관정의 전구간 수리특성(수온, 전기전도도) 검층 자료, 정기 수질분석(주양음이온, 질산염, 브롬 등) 자료 등을 수록하여 농어촌지하수의 연차별 변화 추이를 살펴볼 수 있도록 구성하였다. Fig. 3a는 1개 해수침투조사 지구의 관측공 검층자료이며, 관측공 위치

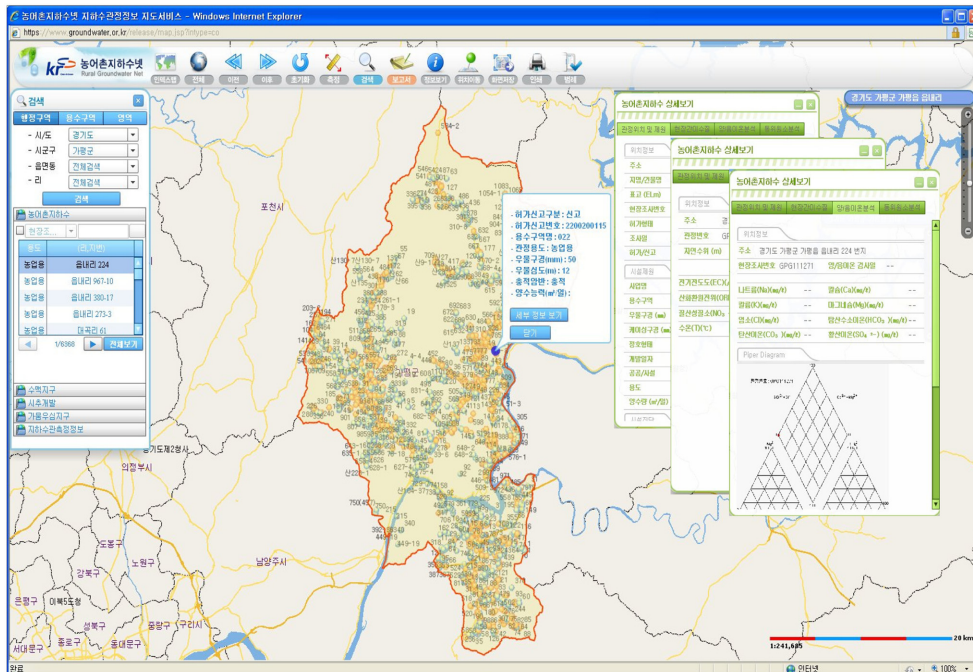


Fig. 4. A window to search groundwater well data for individual rural irrigation regions.

와 해안과의 거리차이에 따른 담염수 전이대의 위치를 보여주고 있으며, Fig. 3은 관측공 개발 이후 지하수 수위, 전기전도도 및 수온의 장기 변동을 보여주고 있다. 2종의 보고서는 농어촌지하수넷의 정보마당 메뉴에서 파일로 내려받을 수 있도록 하여 사용자 편의를 도모하였다.

농어촌지하수넷은 상기한 관측자료 뿐 아니라, 농어촌 지역 관정 정보, 지하수 개발·이용 현황, 수질·수량 현황, 대수층 특성 등 농어촌지하수에 대한 상세한 정보를 GIS기반 지도검색서비스를 통해 제공한다(Fig. 4). 또한, 무분별한 시추 예방 및 농업기름 대비를 위해, 전국 지하수 개발적지 자료, 시추조사 자료, 가뭄우심지구 자료를 제공한다. 그리고, 시·군 지자체 공무원의 농어업용 공공관정 관리를 위한 편의를 제공하고자, 공공관정에 대한 영향조사, 사후관리, 점검정보 등에 대한 이력조회를 할 수 있도록 구성하였다. 추가적으로 농어촌지하수넷 정보마당에는 352개 농어촌 용수구역 중 조사가 완료된 177개 용수구역의 지하수 보고서를 열람할 수 있도록, 내려받기 기능을 운영 중이다.

5. 운영결과

5.1. 농촌지하수관리 관측망

2013년 농촌지하수관리 관측망의 연간 지하수 수위 변

동폭을 분석한 결과, 0~2 m 변동폭 61개소(55%), 2~4 m 변동폭 24개소(21%), 4 m 이상 변동폭 27개소(24%)로 나타났다(Table. 7; 관측기간이 1년 미만인 2013년 신규 관측공 등 35개소 제외). 농촌지하수관리 관측망과 국가지하수 관측망(암반관측공)(국토해양부, 2012)의 변동폭을 상호 비교한 결과, 0~2 m 변동폭은 농촌지하수관리 관측망(55%)이 국가지하수 관측망(30%)보다 높았다. 반면, 2~4 m 변동폭은 농촌지하수관리 관측망(21%)이 국가지하수 관측망(45%)의 1/2 수준에 불과하였다. 그리고 4 m 이상 변동폭은 농촌지하수관리 관측망(24%)과 국가지하수 관측망(25%)이 유사하였다. 두 관측망의 변동폭이 다른 이유는 관측망의 설치 위치에 기인하는 것으로 분석된다. 농촌지하수관리 관측망은 대부분 농경지 주변 구거(용수로 등을 포함한 토지)에 설치된 반면, 국가지하수 관측망은 대부분 하천변에 설치되어 있다. 농촌지하수관리 관측망이 설치된 농경지는 대부분 투수성이 불량한 점토질 논과 밭이다. 따라서 국가지하수 관측망 설치부지에 비해 강우함양이 상대적으로 덜 발생하여 변동폭이 상대적으로 적었을 가능성이 있다. 또한, 국가지하수 관측망의 지하수 수위는 주변 하천수 수위 변화의 영향을 받아서 상대적으로 변동폭이 컸을 가능성도 있다. 이 외, 관측망의 설치 고도, 굴착 심도, 지형경사 및 기타 주변 환경여건 등 여러 복합적인 요인들이 이러한 차이를 발생시켰

Table 7. Annual fluctuation ranges of groundwater levels for rural groundwater management wells (2013.01.01.~11.31)

지하수 수위 변동폭(m)	개소수*	광역시·도별 관측공	
0~2	61	경기	8 광주1, 김포1, 용인1, 이천2, 이천3, 파주2, 오성1, 장안1
		강원	9 고성1, 양구1, 인제1, 춘천2, 평창1, 평창2, 화천1, 횡성1, 횡성2
		충북	10 보은2, 영동1, 옥천1, 옥천2, 음성1, 음성2, 음성3, 제천1, 증평1, 진천1
		충남	7 공주1, 금산1, 보령1, 서천1, 아산1, 아산2, 청양1
		전북	4 고창1, 남원1, 무주1, 진안1
		전남	6 신안1, 영광1, 장성1, 장흥1, 진도1, 함평1
		경북	9 봉화1, 봉화2, 상주2, 상주3, 안동1, 안동2, 안동3, 안동4, 영천1
		경남	8 거제1, 거창1, 김해1, 밀양1, 밀양2, 산청1, 진주3, 합천1
2~4	24	경기	5 가평1, 안성1, 이천1, 고덕1, 현덕1
		강원	1 문막2
		충북	3 괴산1, 보은1, 제천2
		충남	1 서천2
		전북	3 남원2, 부안1, 장수1
		전남	6 무안1, 무안2, 무안4, 보성1, 함평2, 화순1
		경북	2 상주1, 청송1
		경남	3 김해3, 창녕1, 하동4
4 이상	27	경기	5 김포2, 여주1, 여주2, 파주1, 파주3
		강원	6 양구2, 문막1, 부론1, 춘천1, 홍천1, 홍천2
		충북	-
		충남	3 논산1, 부여1, 아산3
		전북	2 순창1, 정읍1
		전남	1 무안3
		경북	4 문경1, 영천2, 영천3, 청송2
		경남	6 김해2, 사천1, 진주1, 진주2, 창녕2, 하동3

* 총147개소 중 관측기간이 1년 미만인 2013년 신규 관측공 등 35개소는 분석에서 제외.

을 것으로 추정된다.

2013년 농촌지하수관리 관측망 지하수의 전기전도도 분석 결과, 대부분(97개소, 84%)의 관측공 주변 지하수는 전기전도도 0~1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위로서 생활용수 및 농어업 용수로 활용이 가능하였다. 이들 지역에 대해서는, 가뭄 등 국가 재난 발생에 대비하여 대수층별 지하수 수위 변화와 가뭄발생과의 상관관계 등에 대한 연구가 필요하다. 그러나, 일부 지역(전남 6개소, 충남 4개소, 경기 2개소, 경남 2개소, 충북 1개소, 전북 1개소)에서는 전기전도도가 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상으로 농어업용수에 직접 활용이 어려운 것으로 분석되었으며, 이에 따라 타 수자원 활용을 모색할 필요가 있다.

5.2. 해수침투 관측망

2013년 해수침투 관측망의 연간 지하수 전기전도도 장기관측 결과, 지하수를 농작물에 직접 활용가능한 '정상' 71개소(60%), 내염성 작물에만 활용가능한 '관심' 9개소(8%), 지하수 이용 규제 및 타 수자원 공급 모색이 필요

한 39개소(32%; '주의' 11개소, '경계' 3개소 및 '심각' 26개소)로 분류되었다(Table 8). '경계' 및 '심각'으로 분류된 지역은, 해안면에 농경지 면적이 넓어서 과거로부터 지하수 이용량이 상대적으로 높았거나, 간척지 비율이 높아 원지반이 현재도 염수로 포화되었거나, 주변 수계 발달이 미약하여 지하수 의존도가 높아 과잉양수를 했던 지역적 특성을 보인다. 지역별로는, 생활용수, 농어업용수를 비롯하여 가뭄 등 비상용수로도 활용이 불가능한 '주의', '경계' 및 '심각' 지역이 전남 21개소로 가장 많고, 전북 6개소, 충남 5개소, 경남·울산 4개소, 경기 4개소, 경북 2개소 순으로 나타났다. 현재까지 '정상' 및 '관심'으로 분류되는 지역은 향후 지하수 개발·이용 시, 지하수 개발 가능량 이하 및 염분상승 모의에 따른 최적 개발량 수준으로 지하수를 이용할 필요가 있다. 그리고, '주의', '경계' 및 '심각' 지역은 해수침투의 내륙확산을 예방하고 청정 농산물 생산을 위하여, 해당지구의 지하수 개발이용을 자제하고 타 수자원 공급방안 모색이 필요하다.

Table 8. Classification of seawater intrusion monitoring wells with respect to electric conductivities

구분	정상	관심	주의	경계	심각
전기전도도 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~2,000 (0~0.128)	2,000~4,000 (0.128~0.256)	4,000~8,000 (0.256~0.512)	8,000~15,000 (0.512~0.96)	15,000 이상 (0.96 이상)
농작물에 영향	모든 작물 생육 가능	염분에 예민한 작물 생육불량	내염성 작물 생육가능	대부분의 작물 생육불량	작물 생육불능
경기 · 인천	송내3, 홍왕1, 홍왕2, 상방1, 대부1, 대부2, 대부4, 서신1, 서신2, 제부2, 포승2, 월곶1, 월곶2, 영흥1, 영흥2	송내1, 포승1	송내2, 대부3, 제부1, 시흥1		
강원	사천2, 토성1, 토성2, 대포1, 초구1, 송정1, 강현1, 강현2, 근덕1, 근덕2	사천1, 조양1			
충남	난지1, 팔봉1, 팔봉2, 서부1, 서부2, 선도1, 선도2, 인주2				장곡1, 장곡2, 인주1, 근흥1, 근흥2
전북	금평1		변산2		대창1, 대창2, 변산1, 자룡1
전남	효지1, 효지2, 자동1, 자동2, 나리1, 나리2, 신기2, 지막2, 평호2, 정도1, 갈문1, 안양1, 안양2, 별교2, 진월2, 해룡2, 화양2, 지산2	화흥1, 별교1, 삼호1	신기1, 평호1, 화흥3	감정2, 화양1	손불1, 손불2, 고금1, 고금2, 진월1, 해룡1, 소라1, 지산1, 신학1, 신학2, 마량1, 마량2, 연산1, 포두1
경북	평해2, 곡강2, 강구1			곡강1	병곡1
경남 · 울산	가인2, 송지1, 동해1, 동해2, 도산1, 도산2, 덕호1, 덕호2, 사등1, 시방2, 북구1, 북구2, 수정1, 수정2, 남양1, 감천1	하동2, 송지2	서상2, 가인1		하동1, 해운1
가뭇시 지하수활용	활용가능	주의요함	불가능(신규개발도 규제)		

6. 결 언

농어촌지하수의 합리적인 개발 · 이용 및 보전 · 관리를 위해, 2013년 12월 현재 전국 283개소(농촌지하수관리 관측망 147개소, 해수침투 관측망 136개소)에 농어촌지하수 관측망이 설치 · 운영 중이다. 관측자료(지하수 수위 · 수온 · 전기전도도)는 농어촌지하수넷을 통해 관심있는 누구나 쉽게 검색하고 내려받을 수 있다. 매년 연차보고서를 발간 중이며, 농어촌지하수넷을 통해 관측망 보고서뿐만 아니라 다양한 농어촌지하수 정보를 살펴볼 수 있다.

농어촌지하수는 신선채소, 시설재배 및 안전농산물 생산 등 국민들의 참살이(well-being) 요구에 부응 가능한 최적의 수자원이다. 농어촌지하수 관측망은 농업작부체계 변화에 따른 지하수 수리권 재분배 요구 시, 수량 및 수질 관측자료를 활용하여 최적의 판단 기준을 도출할 수 있으며, 이로써 농어촌지하수의 합리적인 배분과 이용효율 증대를 도모할 수 있다. 또한 최근 기후변화에 따른 아열대 기후 복상과 가뭄 등 기상재해가 빈번해짐에 따라 재해대비 비상용수로서 농어촌지하수의 가치는 급등하는

추세이다. 이에 따라 농어촌지하수 관측망은 가뭄대책 및 기후변화 감시 등 환경변화를 대비한 역할과 기능으로서 활용 가능할 것으로 기대된다. 나아가, 지진과 지하수 수위변동과의 상관관계, 농업작부체계별 지하수 수질특성, 연차별 해수침투의 발전단계 분석 등 다양한 목적의 연구에도 활용 가능할 것으로 기대된다.

사 사

본 원고는 농림축산식품부 지하수자원관리사업의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

References

KRC (Korea rural community corporation), 2013a, Annual report for rural groundwater monitoring network, 73 p.
 KRC (Korea rural community corporation), 2013b, Annual report for seawater intrusion monitoring network, 113 p.
 KRC (Korea rural community corporation), Rural groundwater net (www.groundwater.or.kr)

- Lee, J.Y. and Song, S.H., 2007a, Evaluation of groundwater quality in coastal areas: implications for sustainable agriculture, *Environ. Geol.*, **52**(7), 1231-1242.
- Lee, J.Y. and Song, S.H., 2007b, Groundwater chemistry and ionic ratios in a western coastal aquifer of Korea: implication for seawater intrusion, *Geosci. J.*, **11**, 259-270.
- Lee, J.Y., Yi, M.J., Song, S.H., and Lee, G.S., 2008, Evaluation of seawater intrusion on the groundwater data obtained from the monitoring network in Korea, *Water Intern.*, **33**(1), 127-146.
- MAFRA (Ministry of agriculture, food, and rural affairs), KRC (Korea rural community corporation), 2013, Action plan for rural groundwater resource management, 294 p.
- MOLEG (Ministry of government legislation), A special act for establishing Jeju special self-governing province and Jeju free international city (No.12354, Jan. 28. 2014)
- MOLEG (Ministry of government legislation), Groundwater act (No.11998, Aug. 6. 2013)
- MOLEG (Ministry of government legislation), Rural community improvement act (No.12248, Jan. 14. 2014)
- MOLIT (Ministry of land, infrastructure, and transport), 2013, Annual report for groundwater development, utilization, and monitoring, 543 p.
- MOLTMA (Ministry of land, transport, and maritime affairs), 2011, Master plan for water resource management (2011-2020), 253 p.
- MOLTMA (Ministry of land, transport, and maritime affairs), 2012, Master plan for groundwater resource management (2012-2021), 154 p.
- Park, Y., Lee, J.Y., Kim, J.H., and Song, S.H., 2012. National scale evaluation of groundwater chemistry in Korea coastal aquifers: evidences of seawater intrusion, *Environ. Earth Sci.*, **66**(3), 707-718.
- Song, S.H., Lee, J.Y., and Park, N., 2007a, Use of vertical electrical soundings to delineate seawater intrusion in Byunsan, Korea, *Environ. Geol.*, **52**, 1207-1219.
- Song, S.H., Lee, J.Y., and Yi, M.J., 2007b, Evaluation of long-term data obtained from seawater monitoring network using variation type analysis, *J. Korean Earth Sci. Soc.*, **28**(4), 478-490.
- Song, S.H. and Zemansky, G., 2012, Vulnerability of groundwater systems with sea level rise in coastal aquifers, South Korea, *Environ. Earth Sci.*, **65**(6), 1865-1876.
- Won, L.J., Koo, M.H., and Kim, H.S., 2006, Simulation of groundwater flow and sensitivity analysis for a riverbank filtration site in Koryeong, Korea, *J. Soil Groundw. Environ.*, **11**(2), 45-55.