

미국 캘리포니아 및 텍사스 주의 지하수 최적분배를 통한 관리 방안

이병선*, 송성호**, 김원석***

Groundwater management plans by optimal distribution policies of California and Texas states, USA

Byung Sun Lee*, Sung-Ho Song**, Wonsuck Kim***

This study reviewed the groundwater policies, particularly, with respect to optimal groundwater distribution of California and Texas states in USA as benchmarkings for the purpose of improving domestic groundwater regulations. In the California state, severe drought resulted in the statewide groundwater elevation monitoring (CASGEM) program. CASGEM designated a total of 515 alluvial groundwater basins to be 43 high, 84 medium, 27 low, and 361 very low prioritization basins based on sum of eight indicators. Groundwater levels for a total of 127 basins (43 high and 84 medium basins) have been monitored after classification for sustainable groundwater management. Groundwater sustainability agencies (GSAs) of 127 priority basins were established to pursue groundwater sustainable plans (GSPs) every 5 years. Implement of GSPs will be evaluated by the state water resource control board (SWRCB). If the implement does not meet the GSPs, SWRCB can enforce GSAs to implement GSPs. In the Texas state, water markets have been considered as the most effective regulation for optimal water distribution. Water rights may be deal in material goods, which increases household profits and induces optimal water use, simultaneously. Trade of water rights is conducted through sales, rents, designation of specific years, and activation of water bank/trust. Whole or partial right can be traded between seller and buyer, which induces groundwater to be distributed to the most needed area. Strategies regarding CASGEM and water market would be good benchmarks for domestic groundwater plans such as local government's groundwater management plan and rural groundwater management plan, which would result in more optimal and sustainable management of domestic groundwater resources.

Keywords: Distribution, Groundwater, Optimal management, Sustainability, Water right

1. 서론

최근 기후변화에 따른 기상이변은 우리나라를 비롯하여 미국 서부, 브라질, 중국, 스페인, 호주 등 전세계적인 하천수 고갈 등 물 부족 문제를 발생

* 한국농어촌공사 농어촌연구원, 주임연구원 (byungsun94@ekr.or.kr)
(Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Associate Researcher)

** 한국농어촌공사 농어촌연구원, 수석연구원 (Corresponding author, shsong@ekr.or.kr)
(Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Principal Researcher)

*** 텍사스주립대학교 지질학과, 부교수 (delta@jsg.utexas.edu)
(Department of Geological Sciences, University of Texas at Austin, Associate Professor)

시키고 있다. 지하수는 물 부족 기간에 대응할 수 있는 소중한 수자원으로, 국내의 경우, 2015년 현재 연간 최대 지하수 개발가능량의 약 32%(약 41억 $m^3/year$)만이 이용되고 있으며, 이론적으로 68%(약 87억 $m^3/year$)에 해당하는 물을 추가로 공급할 수 있는 잠재력을 지니고 있다(MOLIT and K-water, 2016). 물론, 물 부족 문제의 해결책은 신규관정 개발을 통한 지하수 공급만이 아닐 수 있고, 무분별한 지하수 개발·이용은 지하수 고갈을 초래할 수도 있으며, 난개발에 따른 불용공 발생은 관리 부실에 따른 대수층 수질오염확산 문제를 일으킬 수도 있다. 따라서 적정 수준의 지하수 이용을 유지하고, 물복지 사각지대가 없도록 균형잡힌 지하수 공급을 상시 실현하며, 나아가 최적 분배를 통한 지하수 관리 방안을 마련할 수 있다면, 물 문제 극복방안 마련은 물론 조화로운 지하수자원 이용을 위해 한 걸음 더 나아갈 수 있을 것이다.

미국 캘리포니아 주에서는 지난 2010년대 초중반 엘니뇨현상에 의해 유발된 장기가뭄과 인구 증가에 따른 물 문제를 극복하고자, 2014년 7월에 『캘리포니아 지하수 수위 관측(CASGEM; California Statewide Groundwater Elevation Monitoring)』 프로그램을 시행하였다. 이 프로그램을 통해 캘리포니아 주 총 515개 층적층 지하수 분지 가운데 물 관리가 시급한 127개 분지를 지정하고, 지하수 수위 관측을 시행하였다. 이 후, 2014년 9월에 『지속가능한 지하수 관리법(SGMA; Sustainable Groundwater Management Act)』을 제정하여, 이들 127개 분지의 지역 지하수 관리기관으로 하여금 『지하수 지속가능성 계획(GSPs; Groundwater Sustainability Plans)』 또는 이와 『유사한 계획(Alternatives)』을 수립하여 제출하도록 요구하였다(DWR, 2014). 지속가능한 지하수 관리란,

만성적인 지하수 수위 하강으로 인한 지하수 고갈, 지하수 부존량 감소, 해수침투 발생, 지하수 수질 저하, 지반침하, 그리고 지하수와 수리적으로 연결된 하천수의 고갈 문제 등을 사전에 예방하며 지하수를 건전하고 지속가능하게 이용하는 것을 일컫는다. 그리고 2016년 5월에, 캘리포니아 주 수자원국(DWR; Department of Water Resources)은 『지하수 지속가능성 계획 비상 규정(GSP ERs; Groundwater Sustainability Plan Emergency Regulations)』을 마련하여 분지별 지속가능한 지하수 계획 수립과 시행을 지원하고, 주민들에게 지속가능한 지하수 관리 법규를 상세히 알려 지하수자원의 소중함을 고취시키고자 하였다(DWR, 2016).

미국 텍사스 주에서는 지난 2009년부터 2013년까지 발생한 장기가뭄으로 물 공급과 수요 사이에 불균형이 발생했고, 하천수와 지하수가 심각한 고갈 위기를 맞이하였다. 이에 더불어, 도시화에 따른 인구증가(2014년 현재 인구증가율 24.4%)로 과거보다 더 많은 하천수를 전용하고, 더 많은 지하수를 양수하여 이용하였지만, 이러한 대응방안은 항구적인 해법이 될 수 없었다(Airhart, 2012). 『물 시장(Water Markets)』은 제한적인 수자원을 물 판매자와 수요자 사이에 자발적으로 매매하여, 수자원을 가장 가치있게 사용할 수 있는 쪽으로 재배치하고 수자원 보전방안을 모색하는 제도로서(Ballew, 2014), 이미 오래된 제도이며 텍사스 주만의 새로운 제도는 아니다. 그렇지만, 텍사스 주 중앙부에 위치한 『에드워드 대수층 관리국(EAA; Edward Aquifer Authority)』은 탄력적인 지하수 관리를 위해 이 제도를 유용한 도구로 사용해 왔으며, 물 판매자와 수요자 간의 자발적인 거래로, 필요한 곳에 물을 재배치함으로써 물수요에 대응하고, 지하수자원의 최적 분배를 실현코자 하였다. 그리고 좀더 높은 부가가치를

위해 지하수가 이용될 수 있도록 하여 경제성장을 지지할 수 있도록 추진하였다(Boadu et al., 2007). 이 연구에서는 기후변화 및 물 수요 대응을 위해 캘리포니아 및 텍사스 주에서 시행되는 지하수 관리 제도(지하수 지속가능성 계획 및 물 시장)를 살펴보고, 우리나라 제도와 비교하여 국내 지하수 자원의 지속가능한 이용 및 최적 관리로의 시사점을 도출하고자 한다.

II. 캘리포니아 주의 지속가능한 지하수 관리 제도

기상이변에 따른 장기가뭄과 인구증가에 따른 지하수 수요의 증가는 캘리포니아 지하수 수량과 수질의 악화를 초래하였으며, 캘리포니아 지하수자원의 지속가능성에 대해 우려를 자아내었다(CWS, 2012; USGS, 2009; Walker, 2010). 2009년 캘리포니아 주정부는 이에 대한 대응방안으로 지하수 관측(Groundwater Monitoring) 법안을 통과시켰고, 이 후 캘리포니아 주 수자원국(DWR)은 『캘리포니아 지하수 수위 관측(CASGEM)』 프로그램이라는 이름으로 지하수 관측법을 시행 중이다. 캘리포니아 주 지하수 수위 관측 프로그램(CASGEM)의 목적은, 캘리포니아 주의 총 515개 층적층 지하수 분지에 대하여, 각 분지별 지하수 수위의 계절적인 변동과 장기 변동 추세를 정기적, 조직적으로 관측하는 정규 지역 관리 프로그램을 설립하고, 일반인 누구나 쉽게 활용할 수 있는 지하수 수위 정보를 구축함에 있다. 캘리포니아 주 지하수 수위 관측 프로그램(CASGEM) 법령의 일환으로, 2014년 7월 캘리포니아 주 수자원국(DWR)은 공청회를 거쳐 총 515개 지하수 분지에 대하여 관리 우선순위를 구분하여 확정하였다. 관리 중요도에 따라 4개 관리 순위(높은 순위, 중간 우선순위, 낮은 순위 및 매우

낮은 순위)로 구분하였으며, 인구밀도가 높고 지하수 이용량도 많은 127개 분지(높은 순위 43개 분지, 중간 순위 84개 분지)에 대하여, 해당 분지의 지역 지하수 관리기관(GSAs; Groundwater Sustainability Agencies)으로 하여금 지하수 지속가능성 계획(GSPs) 또는 이와 유사한 계획을 매 5년마다 수립하게 하고 이를 달성토록 규정하였다. 그리고 캘리포니아 수자원국(DWR)은 이들 127개 분지의 지하수 지속가능성 계획(또는 유사 계획)을 평가하고, 분지별 지하수 지속가능성 목표를 달성할 수 있게끔 지원토록 하였다(DWR, 2014). 아래 2.1~2.4절에는 DWR(2014, 2016) 및 캘리포니아 수자원국 웹사이트(www.water.ca.gov)를 참고하여 상세한 내용을 서술하고, 우리나라 지하수 제도로의 시사점을 기술하였다.

1. 지하수 분지 관리 우선순위 산출

지하수 분지의 관리 우선순위는 아래 8개 인자를 고려하여 지정되었다. 각 분지별 면적이 서로 다르기 때문에, 1~6번 항목에 대해 표준화 작업이 시행되었고, 0~5점 범위로 점수가 부여되었다(Table 1). 각 인자별 해당 수치가 클 수록 높은 점수가 부여된다. 7~8번 항목은 수자원국(DWR) 직원들의 분석을 통해 이루어지며, 각 분지별 해당사항이 있을 경우에만 1~6번 항목에 추가된다. 7번 항목은 1~5점 범위로 점수가 부여되며, 8번 항목은 음의 랭킹(negative ranking)으로 -5점까지 부여된다.

- ① 분지 내 인구 수 : 2010년 캘리포니아 주 인구조사 자료
- ② 인구 증가(예상)율 : 2010년부터 2040년까지 인구증가 예측 자료
- ③ 공공관정 개소수 : 먹는물 공급관정 데이터 베이스 자료

- ④ 전체 관정 개소수 : 2012년 관정 자료
- ⑤ 농업용수 관개면적 : 최신 토지이용 자료 및 공청회 의견 반영
- ⑥ 지하수를 수자원으로 이용하는 비율 : 최신 토지이용 자료 및 공청회 의견 반영
- ⑦ 과잉 양수, 지반 침하, 해수 침투, 지하수 수질 저하 등 지하수 장애요인 : 수자원국 직원들의 검토 자료
- ⑧ 기타 필요하다고 판단된 정보 : 수자원국 직원들의 검토 자료

Table 1. Data component ranking ranges for CASGEM groundwater basin ranking (DWR, 2014)

Ranking value	Data components and ranking ranges						
	Population		Public well density (mile ²)	Total well density (mile ²)	Irrigated acreage (acre/mile ²)	Groundwater reliance	
	Density (mile ²)	Projected growth* (%)				Use (acre-feet/acre)	% of total supply** (%)
0	$x < 7$	$x < 0$	$x = 0$	$x = 0$	$x < 1$	$x < 0.03$	$x < 0.1$
1	$7 \leq x < 250$	$0 \leq x < 6$	$0 < x < 0.1$	$0 < x < 2$	$1 \leq x < 25$	$0.03 \leq x < 0.1$	$0.1 \leq x < 20$
2	$250 \leq x < 1,000$	$6 \leq x < 15$	$0.1 \leq x < 0.25$	$2 \leq x < 5$	$25 \leq x < 100$	$0.1 \leq x < 0.25$	$20 \leq x < 40$
3	$1,000 \leq x < 2,500$	$15 \leq x < 25$	$0.25 \leq x < 0.5$	$5 \leq x < 10$	$100 \leq x < 200$	$0.25 \leq x < 0.5$	$40 \leq x < 60$
4	$2,500 \leq x < 4,000$	$25 \leq x < 40$	$0.5 \leq x < 1.0$	$10 \leq x < 20$	$200 \leq x < 350$	$0.5 \leq x < 0.75$	$60 \leq x < 80$
5	$4,000 \leq x$	$40 \leq x$	$1.0 \leq x$	$20 \leq x$	$350 \leq x$	$0.75 \leq x$	$80 \leq x$

* Population growth is percent growth from 2010 to 2030

** Percent of total water supply (groundwater and surface water) that is provided by groundwater

8개 항목을 이용하여 각 분지에 대해 점수를 부여한 산출식은 아래 (Eq.1)과 같다. 이 가운데, 전체 관정 개소수의 경우, 관정 개소수에 대한 불확실성 때문에 75%에 해당하는 점수를 부여했다. 분지 점수로 환산된 각 분지는 4개 관리 순위(높은 순위, 중간 순위, 낮은 순위, 매우낮은 순위)로 구분되며, 각 순위별 분지 점수의 범위는 (Table 2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{분지 점수} &= \text{인구밀도} + \text{인구증가율} \\
 &+ \text{공공관정 개소수} \\
 &+ (\text{전체 관정 개소수} \times 0.75 \\
 &+ \text{관개면적} + [(\text{지하수 이용량} \\
 &+ \text{지하수 이용비율})/2] \\
 &+ \text{장애요인} + \text{기타 자료 (Eq.1)}
 \end{aligned}$$

Table 2. Data component range of basin priority

Very low priority	Low priority	Medium priority	High priority
$x < 5.75$	$5.75 \leq x < 13.42$	$13.42 \leq x < 21.08$	$21.08 \leq x$

2014년 5월에 발표된 결과에 따르면, 515개 분지 중 43개 분지가 높은 순위(High Priority), 84개 분지가 중간 순위(Medium Priority), 27개 분지가 낮은 순위(Low Priority), 그리고 나머지 361개 분지가 매우 낮은 순위(Very Low Priority)로 분류되었다. 43개 높은 순위 분지에서는 캘리포니아 주 전체 지하수 이용량의 약 69%를 이용 중이고, 전체 인구의 약 47%가 분지 내에 거주한다 (Table 3). 중간 순위 84개 지하수 분지에서는 캘리포니아 주 전체 지하수 이용량의 약 27%를 이용 중이고, 전체 인구의 약 41%가 거주한다. 결과적으로, 높은 순위(43개 분지)와 중간 순위(84개 분지)를 합친 127개 분지는 캘리포니아 주 전체 지하수 이용량의 96%를 이용하고 있고, 전체 인구의 약 88%가 거주하므로, 이들 분지에 대한

집중적인 관리를 통해 지하수 지속가능성을 확보할 수 있음을 나타내었다. 2014년 6월 13일 현재, 캘리포니아 주 지하수 수위 관측 프로그램(CASGEM)에 의하여 127개 분지(높은 순위 및 중간 순위) 중 76개(60%)분지에서 지하수 수위가 완벽하게 관측되고 있고, 14개(11%) 분지는 부분적으로 관측되고 있다. 나머지 37개(29%) 분지에 대해서는 지하수 수위가 미관측되고 있지만, 이 가운데 35개 분지에 대해서는 지역 지하수 관리기관들에 의해 관측 계획이 수립 중에 있다. 이외, 낮은 순위(27개 분지) 및 매우 낮은 순위(361개 분지)에 대해서는, 분지별 지역 지하수 관리기관으로 하여금 꾸준한 지하수 수위 관측과 관리를 권고하는 수준이다.

Table 3. CASGEM groundwater basin prioritization of California state (DWR, 2014)

Basin priority	Number of basin	Percent of total (%)	
		Groundwater use	Overlying population
High	43	69	47
Medium	84	27	41
Low	27	3	1
Very low	361	1	11
Total	515	100	100

지하수 분지 관리 우선순위는 상대적인 관리 중요성을 고려한 순위로 개발되었지만, 고순위 분지를 어떻게 관리하고 관측해야 하는지에 대한 방법은 특정하지 않는다. 지하수 분지 관리 우선순위 결과는, 상기한 8가지 인자(Eq.1)에 근거하여 캘리포니아 주 지하수의 전반적인 중요성을 평가하고, 향후 지하수 관리의 방향성을 제시한 것에 의의가 있다.

2. 지하수 지속가능성 계획 비상 규정

2014년 9월 16일에 제정된 『지속가능한 지하수 관리법(SGMA)』은 전술한 127개 분지에 대하여, 각 분지별 지역 지하수 관리기관 또는 신규설립된 『지하수 지속가능성 기관(GSAs)』이 상시 지속가능한 지하수 관리를 실현하게끔 하는 데에 있다. 이에 따라, 127개 분지 가운데, 과잉양수 이용하는 분지는 2020년 1월 31일까지, 과잉양수 하지 않는 분지는 2022년 1월 31일까지 지하수 지속가능성 계획(GSPs)을 수립하고 운영하여야 한다. 지하수 지속가능성 기관(GSAs)에는 효율적인 시행을 위하여 재정적, 법적 집행권이 부여되고, 캘리포니아 수자원국(DWR)은 분지

별 지하수 지속가능성 계획 수립, 시행 및 평가업무를 한다. 지속가능한 지하수 관리에 의지가 없거나 역량이 부족한 분지에 대해서는 캘리포니아 주 수자원 관리 위원회(SWRCB; State Water Resource Control Board)가 개입하여 임시계획을 수립하고 이를 강제할 수 있다. 127개 분지 이외의, 지하수 지속가능성 계획이 요구되지 않는 388개 분지는 2016년 4월 1일부터 각 분지의 지하수에 대한 연차보고서를 캘리포니아 주 수자원국(DWR)에 제출하여야 한다.

2016년 5월 18일, 캘리포니아 주 수자원국(DWR)은 지역별 지하수 지속가능성 계획(GSPs) 및 유사계획을 평가하고, 시행을 감독하기 위해, 지하수 지속가능성 계획 비상 규정(GSP ERs)을 만들고, 이익단체들과의 다양한 사회적 합의를 거쳐서 이를 통과시켰다. 이로서, 127개 각 지하수 분지의 지하수 지속가능성과 불확실성이 현재 서로 다를지라도(GSA-1 단계), 지속가능성 계획이 시행된 약 20년 후에는 최종적으로 모든 지하수 지속가능성 기관(GSAs)은 지하수 지속가능성을 확보(GSA-2 단계)해야만 한다(Fig. 1).

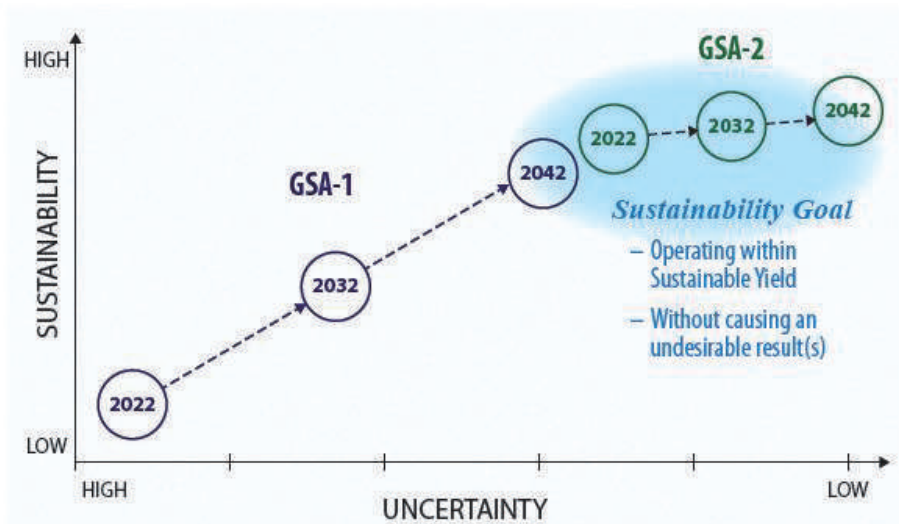


Fig. 1. Groundwater sustainability goal (DWR, 2016)

3. 지하수 지속가능성 계획 수립 및 시행

지하수 지속가능성 계획 수립 및 시행은 크게 4 단계로 구분되어 진행된다(Fig. 2). 1단계는 지하수 지속가능성 기관(GSAs) 설립 및 조합 단계로서, 우선 각 분지간의 경계를 보정하고, 지하수 지속가능성 기관(GSAs)을 설립하여 지하수 분지 관할권을 조정한다. 2단계는 지하수 지속가능성 계획(GSPs) 준비 및 제출 단계로서, 지하수 지속가능성 기관(GSAs)은 지하수 지속가능성 계획

(GSPs)을 수립하고 적용성을 평가하여 캘리포니아 주 수자원국(DWR)에 제출한다. 3단계는 지하수 지속가능성 계획(GSPs) 검토 및 평가 단계로서, 수자원국(DWR)은 각 분지별 지하수 지속가능성 계획(GSPs)의 적합성을 검토하고 평가한다. 4단계는 시행 및 보고 단계로서, 분지별 지하수 지속가능성 기관(GSAs)은 연차보고서를 제출하고 매 5년마다 지역 지하수 지속가능성 계획(GSPs)에 대한 평가를 받는다.

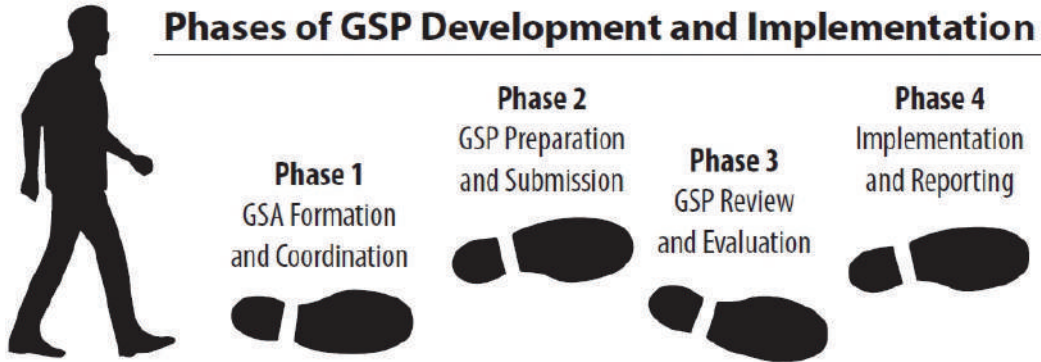


Fig. 2. Phases of GSP development and implement (DWR, 2016)

가. 제 1단계

: 지하수 지속가능성 기관 설립 및 조합

2016년 3월 31일자로 지하수 분지간 경계 변경이 완료되었지만, 과학적인 관리를 위해 향후 변경 기간에 분지간 경계 변경이 가능하며, 분지 간 이해관계가 생길 경우 이를 해결해야 한다. 그리고 127개 분지는 2017년 6월 30일까지 지하수 지속가능성 기관(GSAs)을 설립하여야 한다. 수자원국(DWR)은 분지간 경계 변경을 승인하고, 지하수 지속가능성 기관(GSAs) 설립을 위한 추진비용으로서 미화 2백만 달러를 분지별로 제공한다.

1개 지하수 분지내 지하수 지속가능성 기관(GSAs)은 여러 개 설치될 수 있다. 다수의 지하

수 지속가능성 기관(GSAs)이 1개 분지의 지하수를 관리하는 경우 대표 기관을 지정하여야 하고, 기관 간 조정 협정(Coordination Agreements)을 의무적으로 체결하여 다수의 지하수 지속가능성 계획이 해당 1개 분지의 지속가능성 목표를 어떠한 방식으로 달성할 수 있는지 지하수 지속가능성 계획(GSPs)에 기술해야 한다. 만약 인접한 2개 이상 분지의 지하수 지속가능성 기관(GSAs)들이 지속가능성 목표를 조화롭게 달성하고자 한다면 자율적으로 분지간 협정(Interbasin Agreements)을 체결할 수 있다. 분지간 협정은 분지간 지하수의 수리적 연결성이 있을 때 적용 가능하다.

나. 제 2단계

: 지하수 지속가능성 계획 수립 및 제출

지하수 지속가능성 계획(GSPs)을 과학적으로 수립하기 위해서는, 우선적으로 각 분지의 수리지질학적 특성 분석이 완료되어야 한다. 그리고 지하수 지속가능성 계획(GSPs)에는 각 지하수 분지의 고유 지하수 관측망(계획)에 대한 상세한 기술이 포함되어야 하며, 지하수 장애의 원인을 알아낼 수 있는 지하수 관측 방법이 기재되어야 한다. 지하수 지속가능성 기관(GSAs)은 지하수 자료 관리 시스템을 구축하여야 한다.

지속가능성 계획 수립 시 가장 중요한 점은 지속가능한 관리 기준을 정하는 것이다(Fig. 3). 향후 20년 간 분지 내에 어떠한 지하수 장애도 발생시키지 않는다는 가정 하에서, 지역 이해관계

자(또는 기관) 간의 협의를 통해 지속가능성 목표가 결정되어야 한다. 이를 위해 각각의 지속가능성 지시인자(지하수 수위, 부존량, 해수침투, 수질, 지반침하, 하천수-지하수 상호작용)에 대해 최소 문턱값이 설정되어, 각 지시인자별 매 5년마다 도달할 수 있는 임시목표치(IM; Interim Milestones)가 기재되어, 최종적으로 지속가능한 관리 기준(Sustainable Groundwater Management Criteria)에 도달하여야 한다. 매 5년마다의 임시목표치는 수자원국의 검토를 거쳐야 한다. 지하수 지속가능성 기관들은, 분지 내 지하수 장애가 발생하였을 경우, 이것이 임시목표치 달성에 얼마나 영향을 주며, 최소문턱값을 얼마나 초과 하는지, 그리고 지하수 장애가 일어났던 경과 등을 지하수 지속가능성 계획(GSPs)에 기술하여야 한다.

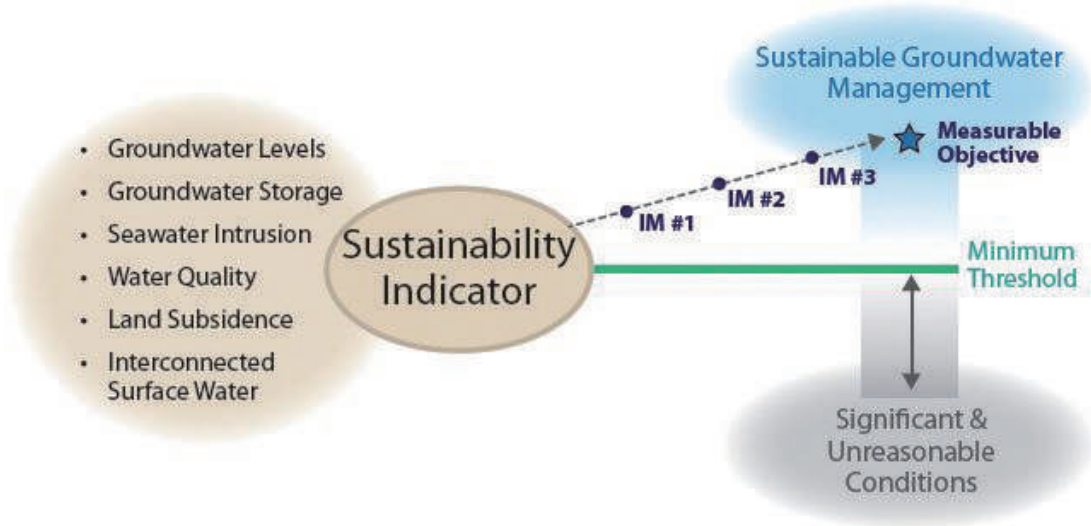


Fig. 3. Groundwater sustainability indicators (DWR, 2016)

1개 분지 내에는 여러 개의 관리구역(MA; Management Areas)을 둘 수 있다. 각 관리구역마다 고유한 지하수 이용량, 지하수 수위, 지

질, 대수층 특성 등에 근거하여 최소문턱값, 측정 목표치, 모니터링 또는 예측 및 관리 등이 다양할 수 있기 때문이다. 수자원국(DWR)은 제2단계의

지하수 지속가능성 계획(GSPs) 수립을 위해 지하수 지속가능성 기관(GSAs)에 대한 재정지원, 계획수립 및 예산계획 수립을 위한 기술지원 등을 할 수 있다. 각 분지별 이익단체들은 수자원국(DWR)에 지하수 지속가능성 계획(GSPs) 초안이 접수된 후부터 의견을 제시할 수 있다.

다. 제 3단계

: 지하수 지속가능성 계획 검토 및 평가

수자원국(DWR)은 제출된 분지별 지하수 지속가능성 계획(GSPs)을 향후 20년 동안 검토 및 승인할 예정이며, 초안은 2년 이내에 평가할 예정이다. 제출된 지하수 지속가능성 계획(GSPs)에 대해서는 약 60일 동안 공청회 등을 통해 공공의 의견을 청취할 예정이다. 지하수 지속가능성 계획(GSPs) 검토 결과, 부적합으로 결정되거나, 지속가능한 지하수 관리법(SGMA)의 요구조항을 반영하지 않았거나, 부적절한 내용이 삽입되어 있을 경우, 캘리포니아 주 수자원 관리위원회(SWRCB)는 이에 개입하여 계획을 강제 조정할 수 있다.

라. 제 4단계

: 시행 및 보고

지하수 지속가능성 기관(GSAs)은 지하수 지속가능성 계획(GSPs)의 실천내용이 담긴 연차보고서를 다음 해 4월 1일까지 수자원국(DWR)에 제출하여야 한다. 수자원국(DWR)은 연차보고서, 지하수 지속가능성 계획(GSPs)의 5년주기 개정본을 검토하고 평가할 예정이다. 연차보고서, 5년주기 개정본이 부적절할 경우, 캘리포니아 주 수자원 관리위원회(SWRCB)는 이에 개입할 수 있다.

4. 국내 지하수 지속가능성 확보를 위한 제도 도입방안

우선순위 지정에 따른 선택과 집중에 기반한 지하수 관리방안은, 한정된 예산과 부족한 관리인원으로 최대의 효과를 거둘 수 있는 지하수 최적관리 전략이다. 대상지구(광역시도 단위, 시군 단위, 용수구역 단위)의 면적은 넓고, 관정은 분산되어 있으며, 실제 많은 양의 지하수를 필요로 하는 구역은 일부분으로 한정된 지하수 이용 특성에도 불구하고, 그 동안의 국내 지하수 관리 전략은 대상지구 전체를 대상으로 다루었기 때문에, 지하수자원 관리의 효율이 기대만큼 도달하지 못하는 실정이었다. 반면, 선택과 집중에 대한 필요성은 절감하고 있었을지라도, 선택과 집중에 대한 각론이 부재했고, 물 복지 소외지구 발생에 대한 우려 때문에, 선택과 집중에 기반한 지하수에 대한 관리는 담보상태에 머무르고 있었을 수도 있다. 이런 점에서 볼 때, 캘리포니아 주의 우선관리순위 지정과 127개 분지에 대한 지하수 지속가능성 계획(GSPs) 수립 및 실천방법은 국내 지하수 관리에 유익한 벤치마킹이 될 것으로 보인다. 특히, 최근 기상이변에 의한 가뭄으로 지하수의 최적 개발·이용 및 관리의 중요성이 더욱 부각되는 바, 캘리포니아 주의 지하수 관리방법은 국내 지하수자원의 건전하고 지속가능한 개발·이용 및 관리에 여러 시사점을 줄 수 있을 것이다.

우리나라 지하수법에서는 지하수 고갈을 포함한 장해 우려 지역에 대하여 '지하수보전구역'을 지정하고, 보전구역 내 지하수 개발이용을 최대한 금지하고 있다. 그러나 지하수법 시행 이래 현재까지 단 두 곳(무안 및 합덕)에만 지하수보전구역이 설정되었을 뿐이고, 하천법, 공원녹지법 등 타법과의 관계, 주민들의 물권리에 따른 민원 문제 등의 사유로 사실상 지하수보전구역 지정은 쉽지

않은 실정이다. 국내 지하수법에 의한 지하수보전구역은 ‘제한’과 관련된 규정이지만, 캘리포니아 주의 지속가능한 지하수 관리법은 ‘이용 관리’와 관련된 규정이다. 캘리포니아 주의 사례는, 지하수는 보전도 중요하지만, 필요한 곳에 최적배분하여 이용하도록 관리하는 것도 중요한 정책임을 알 수 있게 한다.

만약 지하수법 등의 관련 법령과, 지자체별 지하수관리기본계획, 농식품부 지하수자원관리사업 등에서, 캘리포니아의 제도를 벤치마킹하여, 그동안의 지하수 관리 접근방법이었던 ‘제한’보다는 ‘이용 관리’로 패러다임을 바꿀 수 있다면, 물 부족 지역의 지하수를 상시 건전하게 이용토록 하는 동시에 가뭄 등 기상이변 발생시 물 부족을 사전 대응하는 등 양자의 목적을 달성할 수 있을 것으로 기대된다. 선택과 집중에 따른 지하수자원의 관리는 행정적으로도 지자체 지하수담당 공무원과 지하수전문기관 종사자의 업무를 획기적으로 줄일 수 있고, 나아가 가장 효율적인 지하수 관리방법을 운영함으로써 국민에게 직접적인 지하수 복지를 가져다 줄 수 있을 것으로 기대된다. 실제로, 최근 충청남도청에서는 캘리포니아 주의 정책과 비교할 때, 방법은 다르지만 내용은 유사하게, 충청남도 전체 170개 읍면 중 18개 심각지역, 15개 우려지역을 선택하여 지하수개발제한 및 공공개발 관리를 추진하는 등, 『충남형 지속가능한 수자원 확보』를 추진코자 노력 중에 있다 (Chungcheongnamdo, 2017).

III. 텍사스 주의 지하수 최적배치 전략

물 시장(Water markets)은 판매자와 수요자 사이에 자발적으로 물(하천수, 지하수)을 교환하는 시장이다. 물 시장 내에서, 물 가격은 양자 간 협의에 의해 결정되고, 물을 가장 가치있게 사용할

수 있는 쪽으로 물의 이동을 도모한다. 간단한 예로, 1개 소유역에 농어민과 소도시가 있다고 가정해 본다. 도시화로 인해 급격히 인구가 늘어난 소도시에서, 갈수기 기간동안 용수공급이 어려워지면, 그 기간 동안 농어민은 농작물을 재배하는데 소요되는 물의 양을 최소한으로 줄이고, 남은 잉여의 물을 주변 소도시에 판매한다. 이러한 판매로 농어민은 1년간 농작물을 수확해서 얻을 수 있는 금액보다 훨씬 큰 이익을 얻을 수도 있다. 이후 물공급이 원활해지면 농어민은 물 판매를 중지하고 농작물 재배를 위해 물을 평소대로 사용하며, 소도시 역시 평소 공급 수준으로 되돌아간다. 이처럼 물 시장을 통해 재배치된 수자원은 보다 더 경제적으로 이용되며, 물 부족 지역에서 수자원의 무분별한 개발을 방지할 수 있다. 아래 3.1-3.4절에 Ballew(2014)를 참고하여 미국 텍사스 주의 사례를 기술하고, 이를 국내에 도입하기 위해서는 어떠한 것들이 필요한지에 대해 설명하였다.

1. 물 시장 도입을 위한 기준

물 시장 도입을 위해서는, 아래와 같은 네 가지 기준이 지켜져야 한다(AG-NWC, 2011). 첫째, 물은 교환가능한 재화로 취급되어야 한다. 둘째, 모든 물 판매자와 수요자는 물 가격 정보에 쉽게 접근할 수 있어야 한다. 셋째, 물 매매 관리시스템을 통해 물이 이동한 양을 정확하게 관측할 수 있어야 한다. 넷째, 물 시장 진입을 위해 행정적으로 소요되는 금액과 관료 등을 통해 물리적으로 물을 이동시키는 금액 등은 최소화되어야 한다. 물 시장에서 지하수의 이동은 비교적 간단하고 경제적으로 이루어진다. 동일한 대수층에 물 판매자와 수요자가 존재할 경우, 판매자는 수요자에게 판매수량만큼 지하수를 양수를 줄이고, 수요자는 그의 관정에서 구매수량만큼 지하수를 더 양

수하면 지하수 이동을 위한 비용이 소요되지 않는다.

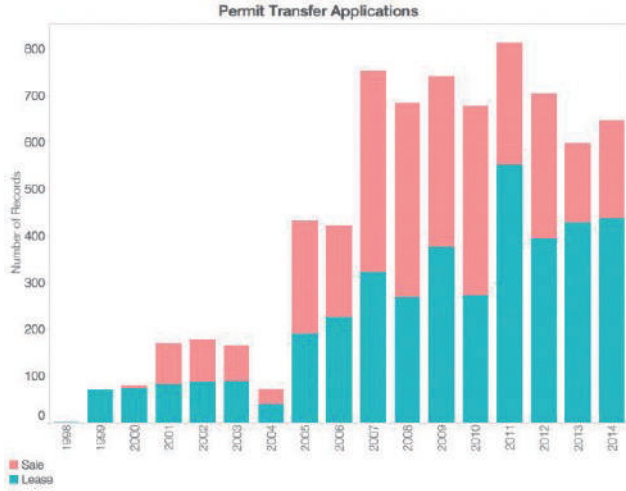
물 판매자와 구매자 사이에 물 권리의 이동은 다양한 방법으로 이루어지며, 물 권리는 일부 또는 전부가 이동될 수 있다(Griffin, 2011). 물 교환 방법은 크게 판매, 대여, 갈수연도 선택, 그리고 물 은행을 통한 거래로 구분할 수 있다. 물 판매란, 물 권리의 항구적인 이양을 일컫는다. 물 대여란, 지정된 기간동안 물 권리의 임시 이양을 일컫는다. 갈수연도 선택이란, 물 권리 판매자와 구매자 사이에 강수량이 부족한 연도에만 물을 이동시키는 것을 협약하고, 이 기간동안에만 권리 이양이 발생하는 것을 일컫는다. 물 은행을 통한 거래란, 공공기관에서 물을 우선 임차하고, 물을 필요로 하는 수요자에게 재배치 하는 것을 일컫는다.

물 시장 활성화를 위해, 텍사스 수자원 개발 위원회(TWDB; Texas Water Development Board)는 텍사스 물 은행(Texas Water Bank)을 운영한다. 텍사스 물 은행은 공공 데이터베이스를 기반으로 개인(법인) 간 물 권리 이동을 관리하도록 개발되었다. 즉, 온라인 거래망을 통해, 판매자들은 물의 양과 가격을 기재해 올리고, 수요자들은 각자의 여건에 따라 이를 구매한다. 그리고 텍사스 수자원 개발 위원회(TWDB)는 환경용수 확보를 위해 텍사스 물 신탁(Texas Water Trust)을 운영 중에 있다. 그러나 홍보의 부족으로 최근까지도 이들 시스템을 통한 물 권리 매매 건수는 많지 않은 편이다.

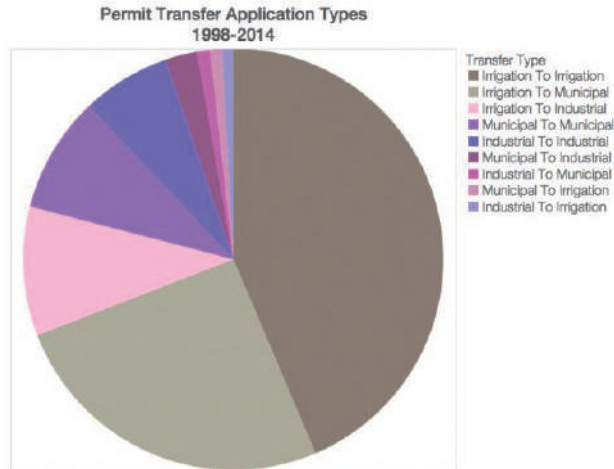
2. 에드워드 대수층 관리국 물 시장

에드워드 대수층 관리국(EAA; Edward Aquifer Authority)은 텍사스 중앙부에 위치하는 지하수 관리기관이다. 에드워드 대수층 관리국(EAA)은 관리 구역 내 개인(법인)에게 농어업용수, 생활용수, 공업용수 및 환경용수를 공급한다. 판매 초기에는 농어업용수 공급이 주된 목적이었으나, 관리구역 내 샌 안토니오(San Antonio) 시가 커짐에 따라 농어업용수에서 생활용수 공급으로 목적이 바뀌었다. 에드워드 대수층 관리국(EAA)은 관리구역 내 지하수 수량 관리를 위해, 각 지하수 이용자들에게 지하수 이용 허가증을 배부하고, 관정별로 지정된 양수량만큼만 지하수를 이용할 수 있도록 하며, 기준 수위 이하로 지하수 수위가 하강할 경우 관정별 지하수 양수량을 강제적으로 줄일 수 있는 권한을 행사한다(www.edwardsquifer.org).

에드워드 대수층 관리국(EAA)은 지하수 관리 권한을 기반으로 지하수 물 시장을 운영한다. 1998년에 물 시장이 개시된 후부터 2014년 11월까지 개인(법인)간 판매(이동)된 물 권리(지하수 양수 권리) 통계를 살펴보면(Fig. 4a), 농어업용수로 이용되던 물 권리를 또 다른 농어업목적으로 거래되는 경우가 가장 많았고, 농어업용수를 생활용수로 거래하는 경우가 그 다음이었다. 초기 몇 년간은 물 시장 제도가 덜 알려져 권리의 이동이 적었지만, 가뭄이 들었던 2011년에는 물 권리 교환에 따른 이익이 최고조에 이르렀다(Fig. 4b).



(a)



(b)

Fig. 4. Statistics regarding water rights of the EAA; Number of lease and sale applications received by the EAA (a), Types of transfers in the Edwards aquifer region (b)(Ballew, 2014)

3. 에드워드 대수층 관리국의 제도적 규제

이상적으로 운영되는 물 시장에서는 불이익을 받는 개인(법인)이 생길 수 없고, 모든 물 판매자와 수요자는 그 전보다 많은 이익을 얻는다. 그러나 어떠한 제도도 완벽할 수 없고, 제도의 허점을 비집고 들어오는 불편한 사례가 언제든지 생길 수 있다. 에드워드 대수층 관리국(EAA)은 이에 대응

하기 위해 법령(the Edward Aquifer Authority Act)으로 개인(법인)의 물 권리를 보호해 왔다. 상세하게는, 오직 에드워드 대수층 관리국(EAA)만이 지하수를 관리하고 이용량을 제한할 수 있도록 했고, 개인(법인)은 물 권리 이동과 관련된 입찰 허가권을 에드워드 대수층 관리국(EAA)으로부터 받도록 하였다(Boadu et al., 2007). 그리고,

농어촌 물 권리 보호를 위해, 농어업용수에서 생활용수로 물 권리의 이동은 법적으로 정해진 수량의 50%만 이동될 수 있도록 제한했다. 왜냐하면 대도시에 의한 농어촌지역 물권리의 무분별한 매입은 농어촌 물 복지 감소를 유발할 수 있고, 농어촌지역 물 권리를 매입하여 도시지역에 판매하는 전문적인 물 판매 회사의 출현에 대한 우려(Kelly, 2004; Kounduri, 2004) 때문이다.

에드워드 대수층 관리국(EAA)에 의한 물 권리 이동제한은 완벽한 시장경제의 실현이 아니기 때문에, 물 권리 판매자는 해당 권리를 100% 행사하지 못하게 되어 물 매매에 의한 이익을 최대화 할 수 없는 단점도 있다. 그리고, 농업용수 사용자들간의 물 권리 이동은 복지 증진에 현저한 도움을 주지 않으며, 이는 지하수 최적관리가 실현되는 경우와 동일한 효과를 발생하는 것으로 분석된다. 그리고 농어업용수로 이용되던 물 권리를 생활용수로 이동하는 것은 물 가격이 높게 책정될 경우에 발생하는 것으로 분석된다(Kaiser and Phillips, 1998).

4. 국내 지하수 지속가능성 확보를 위한 물 시장 도입방안

우리나라 지하수법 제3조1항에 의하면 우리나라 지하수는 공적자원이므로, 개인(법인)간 화폐거래가 불가능하다. 다만 관정소유자는 각 관정마다 허가·신고된 지하수 수량 이하로 지하수를 이용할 수 있다. 따라서, 지하수법 해당 조항이 개정되지 않는 한 개인(법인)간 물 권리 거래는 불가능하고, 개인(법인)의 수입원으로 활용되지 못한다.

그런데 여기서 우리는 영리 목적이 아닌, 지하수 자원 최적 배치와 이를 통한 지하수 이용 효율 최대화를 위하여, 국가(공공기관)에 의한 공공목적

의 물 권리 임대제도에 대해 고민할 필요가 있다. 다시 말하면, 국가에서 지정한 지하수 관련 공공기관은, 국가 공공관정에 대한 물 권리를 필요시 기에만 개인(법인)에 임대할 수 있는 행정권을 부여받는다. 임대 결과로 확보된 임대수익금은 공공관정이 소재한 지역의 지하수(대수층) 관리를 위해 재투자 하도록 한다. 이것이 실현된다면 좀 더 발전적인 지하수 관리의 기틀이 마련될 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결론 및 제언

우리나라 저수지는 최근 기상이변에 따른 강수의 불균형으로 상시 만수울 확보가 어려운 실정이고, 신규 저수지 건설부지 확보도 한계가 있어 저수량을 늘리는 것은 좀처럼 쉽지 않다. 지하수자원은 미래 물 수요를 대비하고, 가뭄 등 물 수급 비상 시 해당 수요를 감당하는 중요한 역할을 한다. 만약 지하수 최적관리 등 지하수의 미래에 대한 고민이 부족할 경우, 물 수급 비상 시 지하수 자원의 최적 배치 문제, 물 복지 소외지역의 고질적인 물 문제, 그리고 지하수를 이용한 관련 산업의 생산성에 문제를 일으킬 가능성이 있다.

현재 우리나라에서 시행되는 지하수 관리 전략이 과연 기상이변 및 미래 지하수 수요를 충분히 감당할 수 있는지, 미래의 지하수 관리 정책이 어떠한 방식으로 시행되어야 하는지에 대한 진지한 고민이 필요한 때이다. 지하수 최적관리를 위한 제도로서, 미국 캘리포니아 주의 지하수 지속가능성 계획, 텍사스 주의 물 시장 정책은 국내에서도 이제는 한 번쯤 고민해 볼 시기가 도래한 것으로 생각된다. 이들 정책을 벤치마킹하여, 무분별한 관정 개발을 지양하고, 동시에 지하수자원의 보전을 추구하며, 좀 더 높은 부가가치를 위해 지하수가 이용되도록 관리함으로써, 경제성장을 지지

할 수 있는 탄력적인 지하수 관리 도구를 개발할 필요가 있다.

사 사

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

References

- ▶ AG-NWC, 2011, Water markets in Australia: a short history, AG-NWC (Australian Government National Water Commission), 139 p.
- ▶ Airhart M., 2012, Groundwater depletion in semiarid regions of Texas and California threatens U.S. food security, Retrieved from: <https://news.utexas.edu/2012/05/29/groundwater>.
- ▶ Ballew, N., 2014, Water Marketing: designed for groundwater management in Texas, Retrieved from: <http://www.texaswaterpolicy.com>.
- ▶ Boadu, F.O., McCarl, B.M., and Gillig, D., 2007, An empirical investigation of institutional change in groundwater management in Texas: The Edwards Aquifer case, *Natural Resour. Jour.*, Vol.47, 117-136
- ▶ Chungcheongnamdo, 2017, Regional groundwater management plan on Chungchungnamdo, *Proceedings of Groundwater Korea 2017*, 35-53.
- ▶ CWS, 2012, Addressing nitrate in California's drinking water with a focus on Tulare lake basin and saline valley groundwater: Report for the state water resources control board report to the legislature, CWS (Center for Watershed Sciences), Univ. of California at Davis, 78 p.
- ▶ DWR, 2014, California groundwater elevation monitoring: Basin prioritization process, DWR (Department of water resource), State of California, 28 p.
- ▶ DWR, 2016, Sustainable groundwater management program: Groundwater sustainability plan (GSP) emergency regulations guide, DWR (Department of water resource), State of California, 21 p.
- ▶ Griffin, R.C., 2011, Water policy in Texas: Responding to the rise of scarcity, RFF press, Washington, D.C. 250 p.
- ▶ Kaiser, R.A. and Phillips, L.M., 1998, Dividing the waters: Water marketing as a conflict resolution in the Edwards aquifer region, *Natural Resour. Jour.*, Vol.38, 411-444.
- ▶ MOLIT and K-water, 2016, 2016 groundwater annual report, MOLIT (Ministry of land, infrastrucre, and transport) and K-water, 647 p.
- ▶ USGS, 2009, Groundwater availability of the central valley aquifer, California, USGS (U.S. geological survey), 225 p.
- ▶ Walker, L., 2010, CV SALTS; Salt and nitrate sources pilot implementation study report, First report, Larry Walker associates, 534 p.