



# 지하수의 평가와 지하수계의 반응

이도훈 (경희대학교 토목건축공학부 부교수)

## 1. 머리말

경제적, 사회적, 환경적으로 큰 비용을 지불하지 않고서 손쉽게 수자원을 확보할 수 있는 시기는 지나서 신규 수자원의 개발이 점차 어려워지고 있는 실정이며, 장래 물 부족에 대비하기 위하여 '수자원의 지속적 확보기술개발 사업단'이 발족하는 등 수자원의 확보를 위한 많은 노력들이 국내에서 시도되고 있다. 미국 및 영국에서는 지하수의 지속가능한 개발과 관리를 위하여 주요 핵심사항, ① 지속적이고 장기적인 채수량의 확보, ② 지하수 저류량의 효율적인 이용, ③ 지표수 및 지하수의 통합관리, ④ 지하수 개발에 따른 환경, 생태계의 보전, ⑤ 지하수 수질의 보전. 미국이나 영국에서 채택하고 있는 이들 주요 사항들은 국내 지하수 자원의 지속가능한 개발과 관리에도 적용되어야 하며, 이 목적을 달성하기 위해서는 수문학적 원리에 기초한 지하수 자원에 대한 과학적이고, 합리적인 평가가 선행되어야 한다. 등을 채택하고 있다.

지하수는 물 순환과정의 일부분으로 강우에 의해 충전되어서 대수층에 저류되고, 고 에너지 영역에서 저 에너지로 유동하여 대기 또는 지표수체로 배출되고 있는 재생가능한 자원이다. 따라서 지하수의 개발과 관리는 수문학적 원리에 입각하여 이루어져야 한다. 수문학적 개념을 잘못 이해하여 수자원 계획 및 정책에 반영하므로써 수자원의 지속적인 개발과 관리에 많은 문제가 나타날 수 있다. 지하수 개발에 따른 지하수계의 반응에 대한 잘못된 이해와 지하수 산출

량 분석개념의 오류로 인하여 미국 Kansas 주의 주요 대수층의 지하수위가 급격히 감소하고 많은 지역의 하천이 건천화 되었다(www.kgs.ukans.edu). 따라서 지하수 자원의 지속가능한 개발규모를 파악하기 위하여 지하수 개발에 따른 지하수계의 반응에 대한 수문학적 개념을 이해하여 지하수 자원의 평가기술 개발에 반영하는 것이 필요하다. 본 고에서는 지하수 산출량 개념 및 지하수 개발에 따른 지하수계의 반응을 검토하여 지하수 자원의 평가 과정에서 잘못 이해할 수 있는 개념을 고찰하고자 한다.

## 2. 지하수의 일반적 특성

지하수와 지표수는 물 순환과정에서 밀접한 관계가 있을 뿐만 아니라, 지하수는 지표수와 비교할 때, 여러 가지의 장·단점 및 특성을 가지고 있다. 지하수는 수온이 일정하고, 증발로 인한 손실이 적으며, 개발가능한 부존량이 많고, 오염가능성이 적으며, 개발비용이 작고, 물을 저장하는데 큰 지면이 필요하지 않는 장점이 있다. 반면에 개발량이 지표수에 비해 소량이며, 조사 및 관리에 많은 비용이 소요되며, 광물함유량이 높은 단점이 있다. 지하수가 가지는 일반적인 특성은 다음과 같이 요약할 수 있다. ① 지하수는 지표면 아래의 거의 모든 곳에서 발생한다. 따라서 모든 지역에서의 물 공급에 이용될 수 있다. ② 강우에 의해 침투된 물이 비포화대를 거쳐서 지하수를 함양시키거나 하천, 호수, 습지 등의 지표수체로부터 침투한 물이 지하수를 함양시킨다. ③ 지하수면은 지

하수의 최상부층으로 강우에 의한 침투량의 변동에 따라서 시간적, 공간적으로 변동하고 있으며, 지역적 관점에서 볼 때 지하수면은 지표지형과 거의 유사한 형태를 보인다. ④ 지하수는 대부분 지표수체로 유출되므로 지하수는 지표수의 주요 공급원이 된다. ⑤ 지구상에 존재하는 담수의 약 25%가 땅속에 지하수로 저장되어 있어서 지하수는 지하저수지 기능을 한다. 이처럼 막대한 지하수 부존량은 장기간의 가뭄 기간에도 지하수가 주요 물 공급원으로 이용될 수 있게 한다. ⑥ 지하수는 일반적으로 매우 느린 속도로 유동하고 있으며, 자연조건에서 지하수는 함양지역에서 배출지역으로 이동하고 있다. ⑦ 지하수 흐름계의 공간적 규모는 작게는 몇 평방미터에서 크게는 수만 평방미터로 매우 다양하여 국지 지하수계, 중간 지하수계, 지역 지하수계로 구분될 수 있다. ⑧ 지하수의 체류시간은 함양지역에서 유출지역에 이르는 흐름경로를 따라서 증가하고 있으며, 국지적이고 얇은 대수층의 지하수 체류시간은 작고, 지역적이고 두꺼운 대수층의 체류시간은 매우 크다. ⑨ 토양 및 지질은 암밀정도, 입자크기, 공극의 크기와 형태 등이 공간적으로 크게 변화를 보이며, 지하수를 저류하고 운반하는 능력도 토양 및 지질 특성에 따라서 매우 큰 공간적인 변화를 나타낸다. ⑩ 지하수의 상태는 우물을 이용하여 관찰할 수 있고, 우물을 통하여 지하매체의 다양한 정보를 수집할 수 있다. ⑪ 지하수는 양수를 통하여 개발·이용할 수 있으며, 지하수의 양수는 주변 지하수위의 저하를 초래하게 된다. 그리고 지하수 양수에 따른 피압대수층과 비피압대수층에서의 지하수두의 변화는 많은 차이를 보인다.

### 3. 지하수 산출량 분석

지하수자원 평가의 주요 목적은 양수를 통하여 어떤 지역에서 개발할 수 있는 최대 개발 가능한 산출량을 결정하는 것이다. 지하수 개발량의 지표로 안전채수량의 개념이 적용되어 왔으며, 여러 연구자에 의해 다양한 정의가 제시되었다. Meinzer (1920)는

안전채수량을 대수층의 고갈 없이, 수량과 수질에 나쁜 영향을 미치지 않으면서 경제적으로 채수할 수 있는 양으로 정의하였다. Conkling (1946)은 Meinzer의 정의를 확장하여 안전채수량을 연평균 함양량을 초과하지 않으며, 경제적인 양수심도를 초과하지 않고, 바람직하지 않는 수질의 유입을 초래하지 않는 범위내에서 채수할 수 있는 최대 양으로 정의하였다. 그리고 Banks (1953)는 Conkling (1946)의 정의에 수리권의 보장에 관한 조항을 첨부하여 안전채수량을 다시 정의하였다. Todd(1959)는 비교적 단순한 안전채수량 개념을 제시하였는데, 바람직하지 않은 결과 없이 지하수역으로부터 연간 채수할 수 있는 양으로 정의하였다. 지하수 개발량의 평가를 위한 안전채수량의 개념은 저수지에 대한 산출 해석 개념으로부터 유래되었다고 볼 수 있다. 저수지의 안전산출량은 시간에 따라서 변동하는 강수나 유량조건에 대하여 가뭄기간 동안에도 공급할 수 있는 최대 양으로 정의할 수 있다. 따라서 지하수 대수층을 하나의 저수지로 생각한다면, 지하수의 안전산출량은 지하수 함양이 적은 기간동안에 지하저수지로부터 공급할 수 있는 최대 양으로 생각할 수 있다. 표 1은 국내 지하수 기초조사에서 적용된 지하수 산출량 산정 방법을 나타내는데, 국내의 지하수 산출량 분석은 주로 지하수 개발이전의 자연상태의 함양량 또는 지하수 배출량을 추정하여 특정 유역의 지하수 개발량을 추산하고 있으며, 지하수 산출량은 지하수 개발가능량 또는 지하수 적정 개발가능량의 용어를 사용하여 나타내고 있다.

### 4. 지하수 개발과 지하수계의 반응

지하수 물수지는 대수층으로의 유입량, 저류량 및 유출량의 관계를 정립하는데 필요한 개념으로 지하수자원의 평가 도구로서 널리 적용되어 왔다. 그리고 인간 활동은 지하수 시스템을 변화시키므로 그 결과 물 수지 구성요소 또한 변화하기 때문에 지하수 관리 단계에서도 물수지 성분의 정확한 평가가 고려되어

표 1. 국내 지하수 기초조사지역의 지하수 산출량 분석방법

보고서명	용어	산출량 분석방법
비상급수 대책에 따른 수맥도 조사용역 보고서 (1998)	지하수 적정개발 가능량	지하수 유출량의 70%
함평-나주지역 지하수 기초조사 보고서 (1998)	지하수 개발 가능량	유역별 지하수 함양량과 유역별 지하수 이용량의 차이
영암-강진지역 지하수 기초조사 보고서 (1999)	지하수 개발 가능량	평균 갈수기 유출량
영덕지역 지하수 기초조사 보고서 (2000)	지하수 적정개발 가능량	지하수 배출량의 60%

야 하며, 인간 활동에 따라 물수지가 어떻게 변하는지를 파악하는 것은 지하수자원의 확보에 매우 필요한 요소이다.

지하수 개발이전 자연상태에서는 지하수계는 장기간 평형상태에 있어서 어떤 기간동안 유입되는 양은 지하수계로부터 유출되는 양과 거의 같다. 이와 같은 상태를 보통 동적 평형상태로 정의한다. 지하수 시스템이 평형상태이기 때문에 저장되는 물의 양은 일정하거나 연별 또는 장기간의 기후 변화에 따라서 지하수 저류량은 평균값에 대하여 약간 변동하게 된다. 표 2는 지하수계의 주요 유입 및 유출 성분을 나타내는데, 지하수계의 주요 자연 유입성분은 강우에 의한 함양이고, 지하수 자연 배출의 주 성분은 하천과 강으로 유출되는 기저유출성분이다.

지하수 개발에 따른 물수지 성분의 변화를 이해하기 위해서는 Theis(1940)가 제시한 지하수 양수시 나타나는 지하수계의 반응과 관계된 수문학적 원리

를 이해할 필요가 있다. 그림 1은 일반적인 하천-대수층 계의 지하수 개발에 따라서 나타날 수 있는 4 단계의 지하수의 반응과정을 보여준다. 그림 1-(1)은 강우에 의해 침투된 물이 함양지역에서 유출지역으로 이동하는 자연상태의 지하수계를 나타내며, 지하수계의 유입량과 유출량이 같은 동적 평형상태로 지하수 저류량의 변화가 없는 상태이다. 그 다음 단계로 우물에서 양수를 시작하면 대수층에서 지하수가 제거되고 우물주변에 수위강하가 발생된다. 따라서 그림 1-(2)에 제시된 것처럼 우물에서 산출되는 물은 우물 주변의 수위강하에 따른 지하수 저류량의 감소와 평형을 이루게 된다. 다음 단계인 그림 1-(3)에서처럼 지하수 양수가 계속되면 수위강하추가 확장되어 지하수 유출지역에 도달하면서 지하수 유출지역의 수리경사가 감소하여 지하수 자연 유출량이 감소하게 된다. 이 단계에서 우물의 양수량은 지하수 저류량의 감소량과 자연유출 감소량의 합과 같게 된다. 이 단계를 지나서 그림 1-(4)에서처럼 양수가 지속되면 수위강하는 점점 확장되어서 함양지역에 도달하게 되어 함양지역과 우물사이의 수리경사가 증가되어서 함양지역의 함양량이 증가하게 되고, 수위강하 속도가 느려진다. 따라서 지하수 개발전의 자연상태에서 함양되지 못했던 물이 함양될 수 있다. 그리고 배출지역으로 확장된 수위강하추는 배출지역에서 대수층으로 수리경사가 역전하게 하므로서 지하수 유출이 완전히 멈추고 하천으로부터 대수층으로 물이 유입된다. 따라서 이 단계에서 하천은 지하수

표 2. 지하수의 유입 및 유출 구성요소

지하수 유입 성분	지하수 유출 성분
강우에 의한 자연함양	하천, 강, 호수, 습지, 바다 등의 지표수체로의 유출
하천, 강, 호수, 습지 등의 지표수의 유입	지하수 양수
관개용수 또는 하수의 유입	용천에 의한 유출
인공함양	지하수의 증발산
타유역으로부터 지하수 유입	타유역으로의 지하수 유출

개발전의 유출지역에서 지하수 함양지역으로 변하게 된다. 궁극적으로 우물에서의 양수량은 함양의 증가량 및 유출의 감소량의 합과 같게 되어 수위강하는 멈춰지고 새로운 동적 평형상태에 도달하게 된다. 그러므로 대수층-하천 시스템에서 장기간 지하수를 개발하게 되면 우물에서의 양수량은 지하수 함양량의 증가 및 지하수 유출량의 감소의 합과 평형을 이루게 된다.

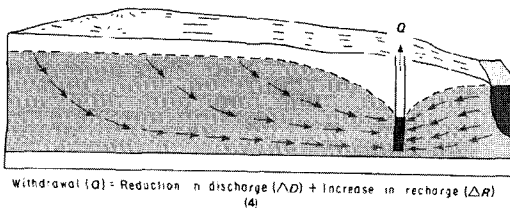
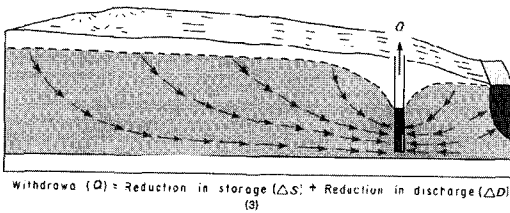
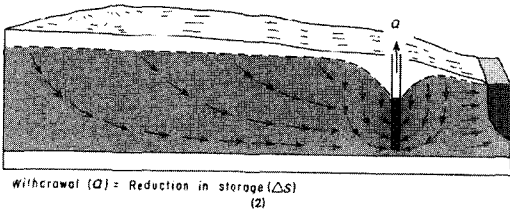
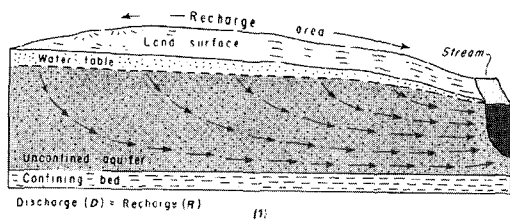


그림 1. 지하수 양수에 따른 지하수계의 반응

Theis (1940)가 제시한 양수시 지하수계 반응에 대한 수문학적 원리를 도식적으로 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2의 A는 유입량과 유출량이 같은 지하수 개발 이전의 물 수지를 나타낸다. 그림 2의 B는 지하수 개발 이후의 물수지에 대한 개념도를 나타내는데, 지하수를 양수하게 되면 우물에서 공급되는 물은 Theis (1940) 이론에 따라서 다음의 세 가지 요소, 즉 (1) 지하수계로 유입되는 함양량의 증가 (2) 지하수계에서 배출되는 지하수 유출량의 감소 (3) 지하수위 저하로 인한 지하수계에 저장된 저류량의 감소, 등에 의해 공급된다. 연 평균 강우량의 변동이 크지 않은 조건에서 자연 함양량은 거의 일정하다고 볼 수 있으므로 지하수 개발에 따른 지하수 함양량 증가의 주 요인은 양수에 따른 지표수의 유입과 양수한 지하수를 관개용수로 재이용하는 경우로 생각할 수 있다. 따라서 지하수 개발 이후의 물수지는 다음과 같이 기술된다.

$$\text{자연 함양량} + \text{함양량의 변화량} = \text{자연 유출량} + \text{유출량의 변화량} + \text{양수량} + \text{저류량의 변화}$$

여기서 자연함양량과 자연유출량은 동일한 값을 가지므로, 결국 지하수 양수에 따른 물수지는 다음과 같다.

$$\text{함양량의 변화량} = \text{유출량의 변화량} + \text{양수량} + \text{저류량의 변화}$$

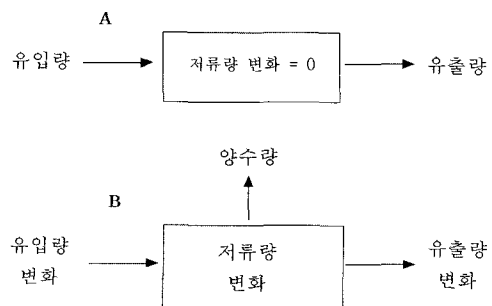


그림 2. 지하수 개발 이전과 개발 이후의 물수지 개념도

대부분 지하수계에서 지하수 양수로 인하여 저류량이 동적으로 변화하고 있으며, 저류량의 변화, 유입량의 변화, 유출량의 변화의 상대적 기여도는 시간의 함수로 변화하게 된다. 그리고 지하수계가 지하수 양수 이후에 새로운 평형상태에 도달하게 되면, 저류량의 변화는 멈출 것이고 유입량과 유출량은 새로운 균형을 이루게 되어서 지하수 개발 이후의 장기간의 관점에서 생각할 경우에 물수지 방정식은 다음과 같다.

$$\text{양수량} = \text{증가된 함양량} + \text{감소된 유출량}$$

그러므로 장기간의 관점에서 볼 때 우물에서 유출되는 물은 지하수 함양량의 증가와 지하수 유출량의 감소량에 좌우된다고 생각할 수 있다. 결국 장기간 지하수를 얼마나 많이 개발할 수 있는나 하는 문제는 양수에 따른 함양량 및 유출량의 변화를 파악하고, 지하수 함양량 및 지하수 유출량의 변화가 주변 환경에 어떤 영향을 미치는가에 좌우되며, 주변 환경에 미치는 바람직하지 않은 영향을 무엇으로 정의하느냐에 달려 있다. 그리고 지하수 개발 이전의 물 수지는 지하수 개발로 인하여 물이 어디에서 오는지에 대한 정보(유입, 유출 및 저류량의 변화)를 제공할 수 없으므로 자연 상태의 지하수 물수지는 지하수 자원의 평가에 적용하는데 매우 제한적이다.

### 5. 지하수 개발 전·후의 물수지 비교 사례

지하수의 개발은 물 순환계의 변화를 초래하여 지하수 물수지 구성요소인 함양량, 저류량, 유출량의 변화가 수반된다. 따라서 지하수 자원의 신뢰성 있는 평가와 지속가능한 관리를 위하여 지하수 개발 전·후의 지하수 순환량을 파악할 필요가 있다. 본 절에서는 미국에서 가장 많은 지하수 개발이 이루어진 California Valley Aquifer System, Floridan Aquifer System, High Plains Aquifer System 등의 세 지역(그림 3)에서 조사된 지하수 개발 전·후의 물수지 분석 사례를 통하여 지하수 개발에 따른 물 수지 변화를 검토하였다. 이들 지역들은 기후 및

수문·지질 조건이 상이하지만 지하수 개발로 인하여 지하수 순환량의 큰 변화가 있었으며, 지하수 개발에 따른 대수층의 공통된 반응은 다음과 같다: (1) 지하수 순환의 증가, (2) 지하수 함양지역의 변화 및 함양량의 증가, (3) 지하수 유출량의 감소.

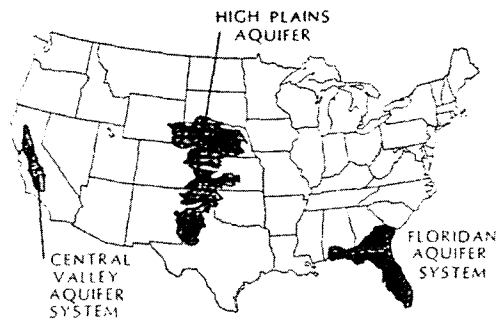


그림 3. California Valley, Floridan 및 High Plains 대수층의 위치

#### (1) California Central Valley 시스템

Central Valley 대수층의 규모는 약 51,200 km<sup>2</sup>이고, 모래, 자갈, 실트 및 점토등이 혼합된 반피압 또는 피압대수층의 특성을 나타낸다. 이 지역은 건조 및 반건조 기후대 지역으로, 북쪽 지역의 강수량은 약 35 - 50 cm이고, 남쪽 부분은 약 12 - 35 cm로 북쪽보다 건조하다. 지하수 개발 이전 조건에서는 Central Valley의 동쪽과 북쪽의 고지대로부터 Valley에 흘러 들어오는 하천수가 침투하여 지하수를 함양하고 있으며, 지하수 유출은 Central Valley의 중심부분에 위치한 하천으로 배출되고 있으며 추정된 배출량은 일 1.8 billion gallons 정도이다. 1960년대와 1970년대에 이르러 관개용수 공급을 위하여 일평균 10.2 billion gallons의 지하수가 개발되었고 타 유역으로부터 추가적인 지표수가 공급되어 관개에 사용되었다. 캘리포니아 Central Valley 지역에서의 이런 일련의 광범위한 지하수 개발과 지표수의 공급은 지하수 순환계를 크게 변화시켜서 그림 4에 제시된 것처럼 지하수 개발 전·후의 물수지

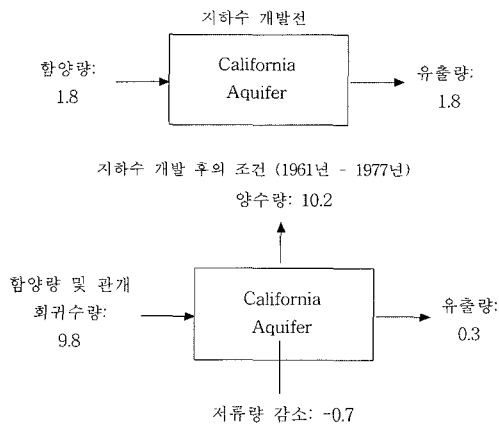


그림 4. California Central Valley 시스템의 지하수 개발 전·후의 물수지

가 크게 변화하였다. 지하수 개발후의 함양량은 지하수 개발전과 비교하여 약 5배 이상 증가하였는데, 이는 주로 타 구역에서 공급된 지표수의 관개로 인한 침투량의 증가로 지하수 함양량이 증가하였다. 반면에 지하수 배출 특성은 1961년대와 1970년대의 지하수 개발로 인하여 지하수 유출량은 지하수 개발 이전의 지하수 유출량보다 6배 정도 감소하였다. 지하수 개발 기간동안의 지하수 평균저류량은 0.7 billion gallons이 감소하였는데, 이는 지하수위의 감소와 점토층의 비탄성 압밀에 기인하며, 점토층의 비탄성 압밀은 Central Valley 대수층의 지반침하를 발생시켰다. 결과적으로 Central Valley 대수층 시스템의 지하수 개발은 지하수 물수지 변화, 대수층의 수리특성 및 지반의 변화를 초래하였다.

### (2) Floridan 시스템

Floridan 시스템은 주로 석회암 및 dolomite 층으로 구성되어 있는 비피압대수층, 반피압대수층, 피압대수층 특성을 가지며, 모래 실트, 점토 등의 표층으로 덮여 있다. 이 석회암 대수층은 매우 산출성이 크며 그 규모는 약 256,000 km<sup>2</sup>에 이르며 이 지역의 년 평균강수량은 1346 mm로서 비교적 큰 편이다. 따라서 대수층에 대한 대부분의 지하수 함양은 강수에

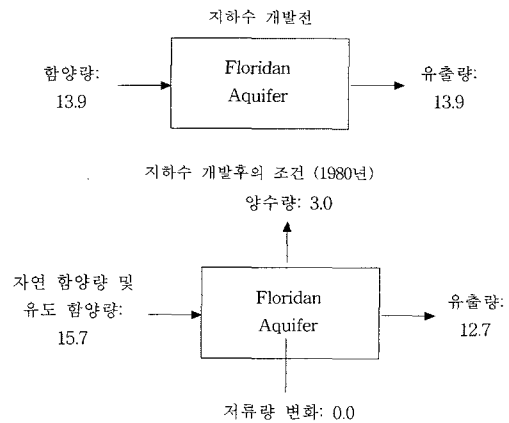


그림 5. Floridan Aquifer 시스템의 지하수 개발 전·후의 물수지

의한 침투에 의해 이루어지고 있으며, 일 139억 gallon 정도가 대수층으로 함양되어 용천 형태로 배출되고 있다. 지하수 개발량은 1980년도에 일 30억 gallon으로 지하수 자연함양량의 약 21 % 정도이다. 일 30억 gallon의 지하수 개발은 Floridan 대수층의 지하수 물수지에 큰 변화를 주지는 못하지만 약간의 지하수 함양량의 증가와 지하수 유출량의 감소가 발생하였고, 저류량은 거의 변동이 없다 (그림 5). 지하수 함양량은 개발전의 일 139억 gallon에서 지하수 개발 후의 일 157억 gallon으로 약 20 %가 증가하였는데, 이는 지표수의 유도 함양 및 지하수 배출량의 포획에 의해 함양량이 증가하였다. 지하수 유출량은 지하수 개발전 자연 유출량의 8 %인 일 12억 gallon 정도가 감소하였다.

### (3) High Plains 시스템

High Plains 대수층은 간헐적인 실트와 점토층을 가진 모래와 자갈로 구성된 비피압 대수층으로 대수층의 규모는 445,440 km<sup>2</sup> 정도이다. 년 강수량은 406 - 711 mm의 범위를 나타내지만, 증발산량이 크기 때문에 지하수 함양량은 일반적으로 작다. 1930년대 이후로 관개용수 공급을 위해 지하수 개발이 꾸준히 증가하여 High Plains 대수층은 미국에서 가장

많은 양의 지하수가 개발되었다. 특히 High Plains 시스템의 남쪽 지역인 Texas 주 및 New Mexico 주에서는 자연 함양량을 훨씬 초과하여 지하수가 개발되었으며, 그 결과로 15 m 이상의 지하수위가 감소되었고, Texas의 일부 지역에서는 60 m 이상의 지하수위가 감소하였다. High Plains 시스템의 지하수 개발 전·후의 지하수 물수지는 큰 변화를 나타내고 있다 (그림 6). 지하수 개발전의 자연 함양량 및 유출량은 약 1억8천만 gallon/일로 추산되었는데, 1960년에서 1980년에 이르는 20년 동안에 평균 지하수 양수량은 자연함양량의 30배 이상을 초과한 일 62억 gallon 정도이다. 지하수 개발로 인하여 함양량, 저류량 및 유출량이 크게 변화하였는데, 지하수 함양량은 타유역에서 공급된 관개용수 및 양수한 지하수의 재침투로 인하여 자연함양량의 20배 이상 증가하여 일 38억 gallon이 함양되고 있다. 그러나 함양량의 1.5배 이상의 지하수가 개발되므로 지하수 저류량이 일 25억 gallon 감소가 되었으며, 지하수 유출량은 일 1억 gallon 이상이 감소되어서 지하수 개발전 유출량의 약 40% 정도로 유출하고 있다.

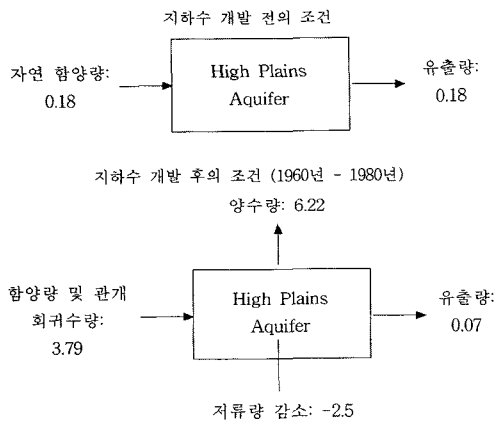


그림 6. High Plains Aquifer 시스템의 지하수 개발 전·후의 물수지

## 6. 맺음말

수자원의 지속적인 확보는 인류의 삶의 질 개선을 위한 생활용수, 농업용수 및 공업용수의 공급뿐만 아니라 생태계 및 환경보전을 위해서도 매우 중요하다. 물은 재생가능한 자원으로 인식되지만, 시·공간적인 측면의 물 부족은 물이 매우 제한적으로 분포되어 있으며 지속가능한 수자원의 확보를 위한 다양한 방안과 기술개발을 요구하고 있다. 지하수는 지표수와 함께 수자원 확보의 주 원천이 되는 자원으로써 지속적인 지하수 자원의 확보는 물 순환과정에서의 수문학적 원리에 기초하여 이루어져야 한다. 따라서 지하수 개발에 따른 수문학적 원리에 대한 오류는 지속가능한 수자원의 확보에 여러 가지 문제점을 초래할 수 있다. 그림 7은 미국 캔사스 주의 1961년도와 1994년도의 하천 변화를 나타내는 지도이다. 1994년도 캔사스주 중서부 지역은 하천이 건천화되어 1961년도와 비교하면 많은 차이를 보이고 있다. 캔사스주 하천 건천화의 주요 원인은 1960년대 이후 많은 양의 지하수 개발이 이루어져서 지하수 양수로 인하여 지하수 유출량이 급격히 감소하여 발생되었는데, 지하수 개발에 따른 지하수 유출의 변화를 고려하지 않은 수자원 계획의 결과이다. 지하수 개발에 따른 지하수계의 반응을 적절히 반영하지 않고 지하수 개발량 평가를 국내에서도 수행하고 있다. 따라서 국내의 지하수 자원의 평가를 위한 기술개발에서는 다음의 수문학적 원리를 다시 검토할 필요가 있다.

- ① 지하수 양수에 의해 우물에 공급되는 물은 궁극적으로 지하수 함양의 증가량 또는 지하수 유출의 감소량과 균형을 이루게 된다. 따라서 연 평균 강수가 일정하여 지하수 함양량의 변화가 없는 조건에서는 지하수 개발의 규모는 지하수 유출의 감소량에 좌우된다.
- ② 지하수 개발은 지하수 순환을 증가시키고, 지하수 물수지 성분의 변화를 초래하게 된다.
- ③ 자연상태의 지하수 물수지는 지하수 개발량을

산정하는데 부적절하므로 지하수 개발 후의 물 수지 변화를 고려하여 지하수 자원의 평가에 반영하여야 한다.

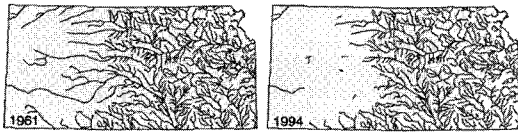


그림 7. 1961년도와 1994년도의 미국 캔사스주 하천의 변화 (www.kgs.ukans.edu로부터 발췌)

④ 지하수와 지표수는 서로 상호작용을 하고 있으므로 지하수의 개발은 지표수에 영향을 미치고 지표수의 개발 또한 지하수에 영향을 미치므로 지표수와 지하수를 동시에 고려하여 가용 수자원을 평가하여야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호:3-3-1)에 의해 수행되었습니다. 🙏

#### 〈 참고문헌 〉

1. 건설교통부, 대한광업진흥공사. (1998) 함평-나주지역 지하수 기초조사 보고서.
2. 건설교통부, 한국자원연구소. (1999) 영암-강진지역 지하수 기초조사 보고서.
3. 건설교통부, 대한광업진흥공사. (2000) 해남지역 지하수 기초조사 보고서.
4. 수원시. (1998) 비상급수 대책에 따른 수맥도 조사용역 보고서.
5. Banks, H.O. (1953) "Utilization of underground storage reservoirs", Transactions, American Society of Civil Engineers, Vol. 118, pp. 220-234.
6. Conkling, H. (1946) "Utilization of ground-water storage in stream system development", Transactions, American Society of Civil Engineers, Vol. 111, pp. 275-305.
7. Meinzer, O.E. (1920) "Quantitative methods of estimating ground-water supplies" Vol. 31, Bulletin of the Geological Society of America, pp. 329 - 338.
8. Theis, C.V. (1940) "The source of water derived from wells: essential factors controlling the response of an aquifer to development" Civil Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 277-280.
9. Todd, D.K. (1959) Ground-water Hydrology. John Wiley & Sons, New York. 336p.